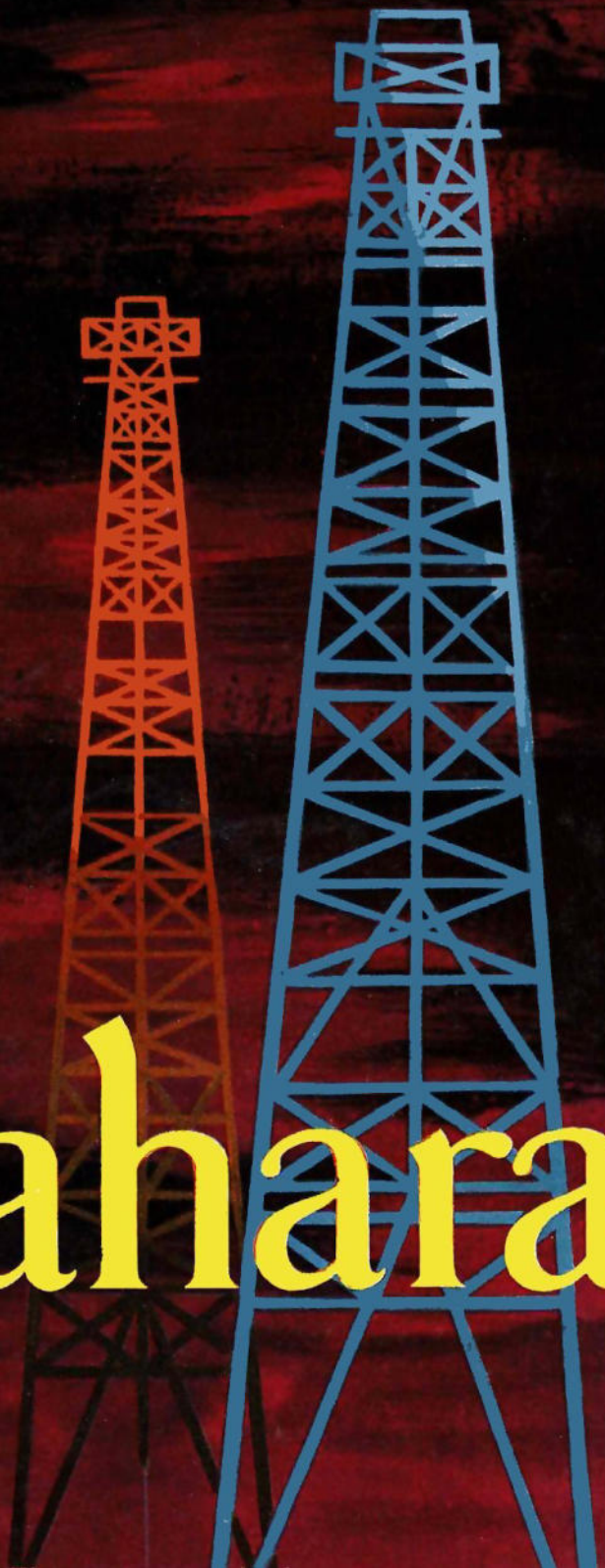
SCIENCE et VIE

Edition trimestrielle n° 43 ● 250 Frs

NUMÉRO HORS-SÉRIE



le Sahara

Visitez

la BELGIQUE à l'heure de l'Exposition de Bruxelles et l'Allemagne en utilisant la voie maritime

4 DÉPARTS DU HAVRE
16 Juillet — 6 Août
20 Août — 3 Septembre

Pour tous renseignements :

Compagnie Maritime des Chargeurs Réunis

3, Bd Malesherbes, PARIS - ANJou 08-00
aux agents et représentants de la Cie, ainsi qu'aux agences de voyages

DES KILOMÉTRES D'ÉCRITURE PARFAITE :

avec le

nouveau SUPER FLAIR à cartouche géante

- Très léger et parfaitement équilibré
- Cartouche géante de très grande capacité
- Deux grosseurs de bille à votre choix : normale ou extra-fine
- Mécanisme perfectionné escamotant la bille dès qu'on agrafe le stylo dans la poche : Plus de vêtements tachés

3 modèles :

- Capuchon chromé guilloché **990** Frs
- Capuchon plaqué or .. **2.150** Frs
- Entièrement plaqué or **2.900** Frs

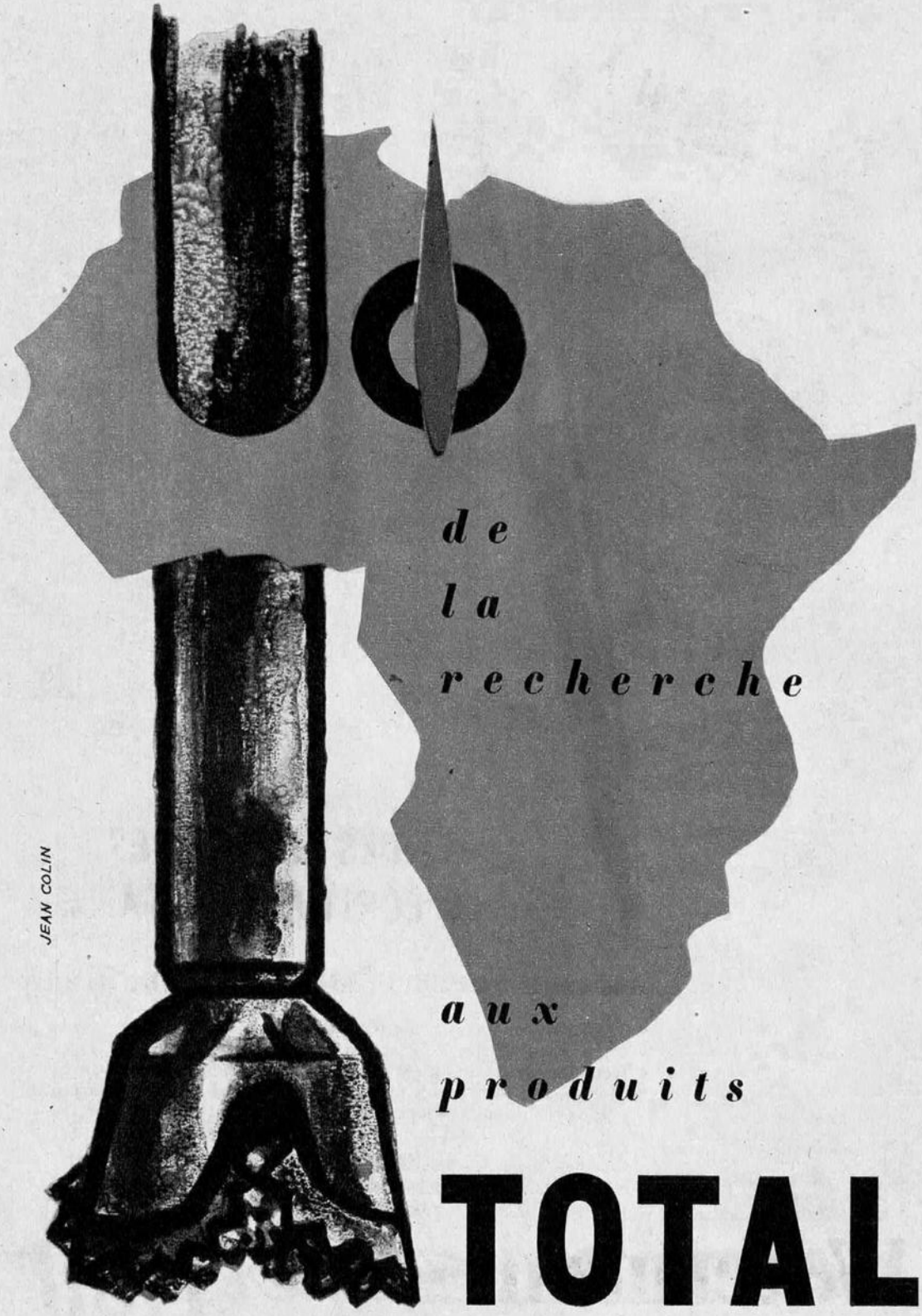
La cartouche géante est aussi longue que le corps du stylo.

Elle est vendue sans supplément de prix

PUYBELLE 2594

Waterman Super Flair

De l'**écriture en plus,** des **frais en moins**



JEAN COLIN

COMPAGNIE FRANÇAISE DES PÉTROLES

NUMÉRO HORS SÉRIE

le Sahara

SOMMAIRE

- ÉDITORIAL 4
- LE SAHARA DE LA PRÉHISTOIRE 6
- LE PLUS VASTE ET LE PLUS ARIDE DES DÉSERTS 18
- L'EAU FÉCONDE N'EST PAS INÉPUISABLE 50
- CERTITUDES ET ESPOIRS DES RICHESSES MINIÈRES 63
- TRANSPORTS AÉRIENS ET TRANSPORTS TERRESTRES 74
- LE VÉHICULE SAHARIEN SPÉCIALISÉ 84
- LE GÉOLOGUE A LA RECHERCHE DU PÉTROLE 95
- CAMPAGNES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE 106
- PÉTROLE ET GAZ : RÉSULTATS ET PERSPECTIVES 119
- L'ALPINISME AU HOGGAR 127
- LA CHALEUR SOLAIRE, ÉNERGIE D'AVENIR 136
- LA MISE EN VALEUR DU SAHARA 142

TARIF DES ABONNEMENTS

	France et Union Fr^{se}	Étranger	Benelux et Congo belge
UN AN, 12 parutions	1000 fr.	1400 fr.	200 fr. belges
UN AN, 12 parutions (envoi recommandé)	1600 fr.	1900 fr.	
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série	1650 fr.	2200 fr.	375 fr. belges
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série (envoi recommandé)	2400 fr.	2900 fr.	

Changement d'adresse, poster la dernière bande et **30 fr.** en timbres-poste.

Administration, Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8^{e}. Tél. : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS
Adresse télégraphique : SIENVIE Paris. — **Publicité :** 2, rue de La Baume, Paris-8^{e}. Tél. : Elysées 87-46

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays, Copyright by **SCIENCE ET VIE.** *Juin 1958*

ÉDITORIAL

DÉSERT entre les déserts, symbole de la stérilité absolue, enfer de la peur et de la soif, le Sahara est non seulement le plus grand désert du monde, mais aussi le plus aride. Sa partie française représente huit fois le territoire métropolitain, mais il est vingt-cinq fois moins peuplé que la France. Encore sa population nomade, et surtout celle sédentaire des oasis, se sont-elles considérablement accrues depuis que la pénétration française a apporté la paix, la sécurité, le soutien en cas de famine, la surveillance médicale. Des oasis autrefois misérables ont été renovées, d'autres ont été créées, des bureaux de poste, des écoles, des dispensaires ont été édifiés. Il semblait malgré tout que le désert, dont les neuf-dixièmes sont toujours totalement inhabités, fût voué à demeurer pour toujours dans son engourdissement millénaire, ne recueillant que l'écho lointain des transformations du monde moderne.

■ Depuis peu il prend un nouveau visage. Le long des rares pistes qui le strient et dont certaines ont fait place à des routes goudronnées, les caravanes au pas lent s'effacent devant les camions lourds, les citernes monstres, les tracteurs et leurs remorques, chargés de tubes, de trépans, de cabines climatisées qu'on groupera autour des derricks qui rompent le silence habituel des plaines caillouteuses. Les avions commerciaux survolent les immensités vides et leurs rares îlots de verdure, prennent pour escales aériennes les oasis cernées par les sables, ravitaillant des milliers de techniciens; les hélicoptères bourdonnent au-dessus des dunes, devançant les explosions de la sismique qui ébranleront le sol. Dans les bureaux d'étude, des plans audacieux s'élaborent, dressant des graphiques de production chiffrés en milliers de tonnes de minerais, en millions de tonnes de pétrole, en milliards de mètres cubes de gaz naturel, dessinant sur la carte d'Afrique l'esquisse des futures zones d'expansion industrielle.

■ Miracle ou mirage ? La question a été posée. La réponse ne fait pas de doute : ni l'un ni l'autre. Certes, une grande objectivité s'impose quand on aborde le domaine si complexe de la mise en valeur du Sahara. Mais les résultats sont là, qui étaient les espoirs légitimes. Il n'y a pas eu de miracle au Sahara, mais le patient travail, d'ailleurs loin d'être terminé, des missions scientifiques et techniques qui ont sillonné, étudié et inventorié le désert depuis l'Atlantique jusqu'au Tibesti. Il n'y a pas de mirage, car les richesses du sous-sol sont là, non pas seulement des indices, mais des gisements prospectés, cubés, chiffrés, exploitables, et il y en aura sûrement d'autres. Le problème est d'organiser cette exploitation dans une perspective de développement harmonieux.

■ C'est un problème particulièrement ardu. Si ce territoire, rendu inhabitable et improductif par ses conditions climatiques, se rachète maintenant par les richesses de son sous-sol, il n'en reste pas moins que ces dernières sont situées de telle manière qu'un énorme effort

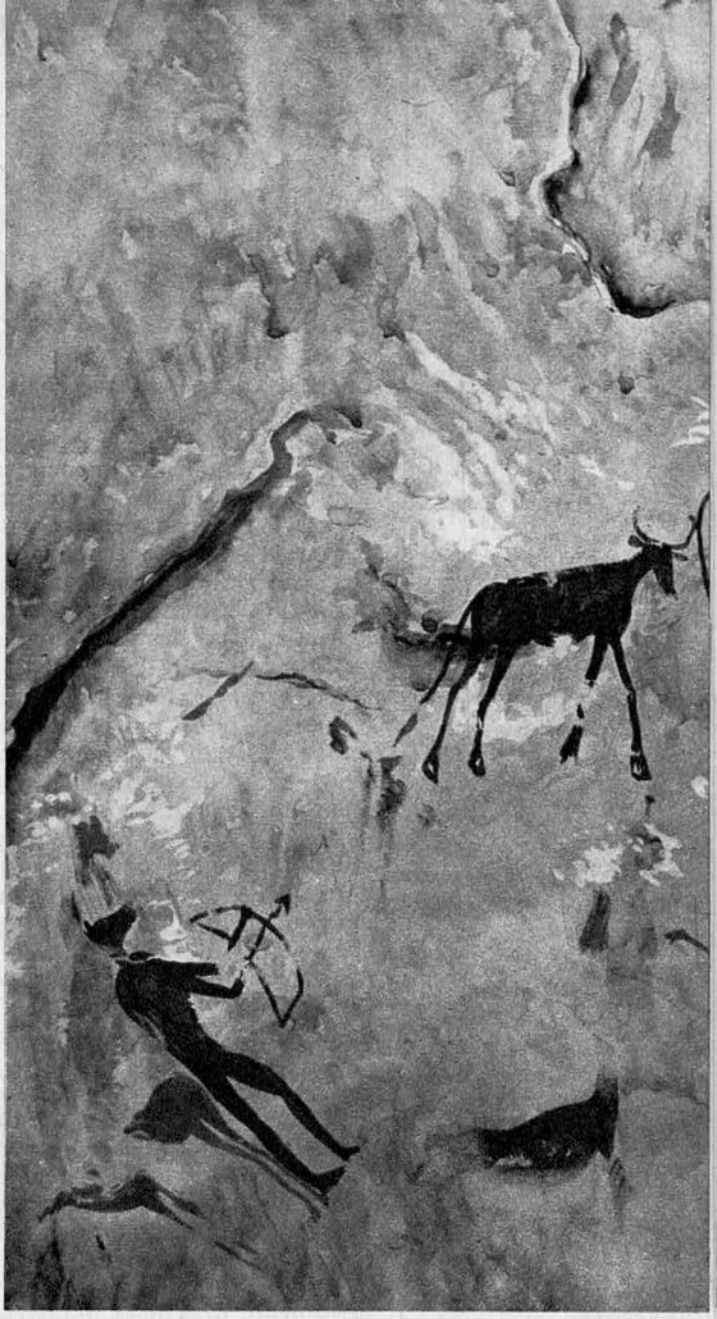
financier, qui se chiffre par milliers de milliards, devra être accompli et soutenu sans défaillance. Aux considérations techniques et financières s'ajoutent des considérations politiques. Le Sahara français, tel qu'il est défini administrativement, n'a pas de débouché sur la mer. Pas une tonne de fer, de cuivre, de manganèse ou de pétrole, pas un mètre cube de gaz naturel ne peut en sortir si nous n'entretenons pas des relations cordiales avec les territoires qui l'entourent. Faute de pouvoir utiliser sur place les ressources mises à jour, l'avenir saharien se trouve en particulier lié intimement à l'avenir algérien et, de ce point de vue encore, le plus brûlant des problèmes africains actuel est celui de l'Algérie.

■ Que pourra être le Sahara de demain ? Il faut bien se pénétrer de l'idée que, malgré les projets audacieux de création d'une mer intérieure et de détournement massif des grands fleuves tropicaux, qui se heurtent à des difficultés pratiquement insurmontables, malgré la technique encore incertaine de la pluie provoquée, le Sahara restera un désert. De grands forages ont fait jaillir des puits artésiens, la force motrice éolienne pourra fournir une énergie à bon marché pour le pompage et fertilisera de nouvelles oasis, mais les nappes aquifères, malgré leur importance, ont des possibilités limitées, et l'utilisation de la chaleur solaire pour la distillation et la récupération des eaux saumâtres ne pourra fournir qu'un appoint. Le problème de l'eau demeurera capital pour l'alimentation des centres industriels et des chantiers miniers ou pétroliers.

■ D'énormes distances séparent les rares lieux habités. Grâce à l'avion, à l'amélioration du réseau routier et aux progrès des véhicules tous-terrains, à la prolongation éventuelle de la voie ferrée vers les centres miniers de la région de Colomb-Béchar et peut-être vers le Niger, l'infrastructure connaîtra une amélioration sensible. Des zones de repos et touristiques pourront être aménagées, mais d'immenses espaces demeureront vides.

■ Quant au Sahara industriel, il n'en est encore qu'au stade où des pointillés sur des cartes délimitent des zones théoriques dans lesquelles cependant l'eau, la main-d'œuvre, les ressources énergétiques et minières forment déjà ou formeront bientôt les éléments de base concrets.

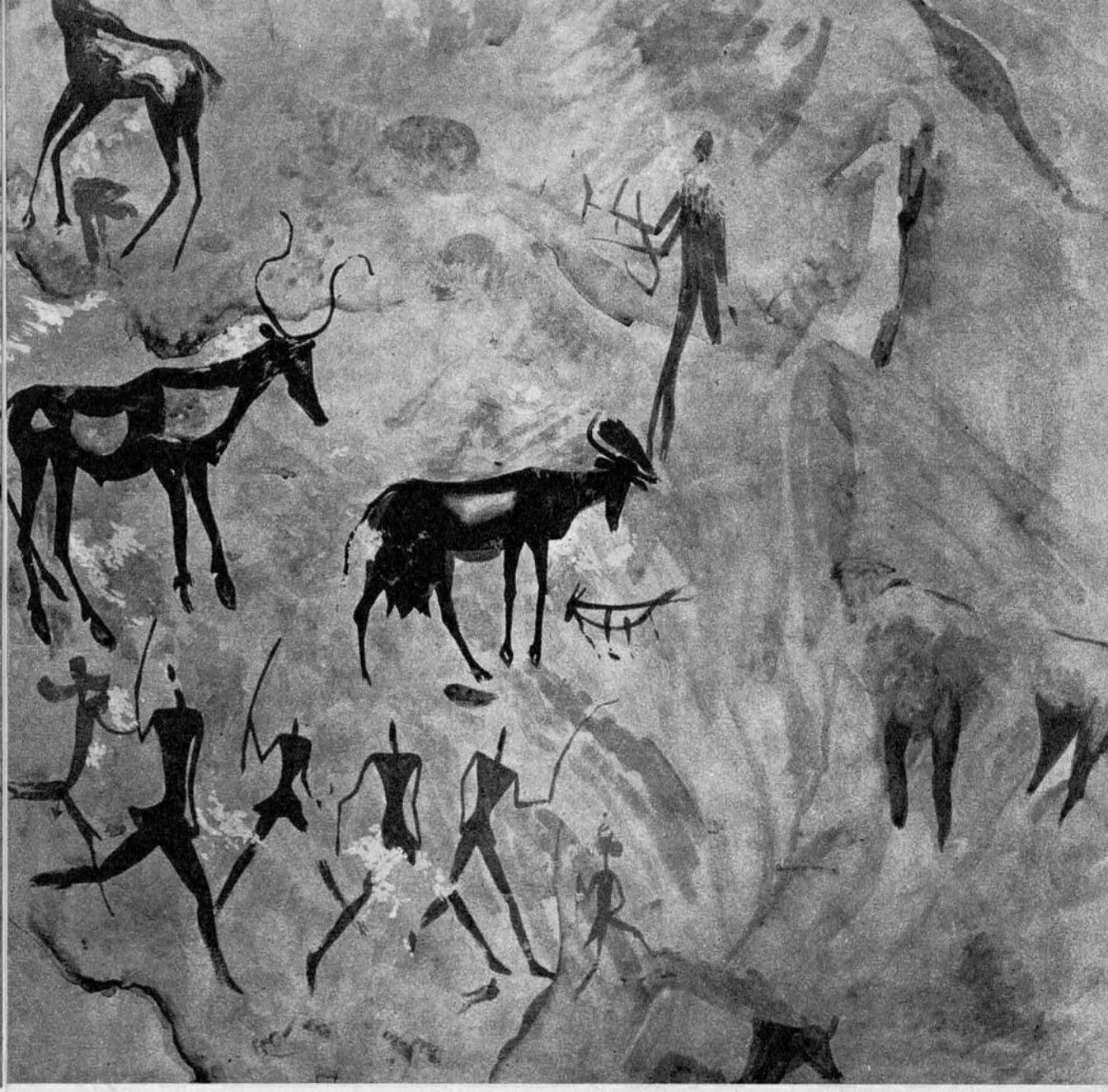
■ Il s'agit de substituer au Sahara des sables et des nomades, traditionnel, immuable et stérile, un Sahara minier, industriel en certaines de ses parties, fertilisé partout où cela est possible, avec, pour toutes ses populations l'espoir d'une amélioration considérable du niveau de vie, pour l'Afrique du Nord la perspective de ressources énergétiques surabondantes, et pour la Métropole, si les prévisions des plans de mise en valeur sont confirmées, l'assurance de son indépendance économique, fondement de l'indépendance politique. De notre esprit d'entreprise et de notre ténacité dépendra que les virtualités sahariennes ne soient pas des mirages.



Peinture rupestre de l'Oued Djorat dans le Tassili des Ajjers

Sur ce fragment d'un grand panneau peint on remarque un archer masqué (à gauche), des guerriers acéphales du style « bitriangulaire » et d'admirables animaux. Ceux du centre sont de couleur brune, le reste est rouge pâle, sauf l'archer. On remarquera que plusieurs styles sont superposés.

LE SAHARA n'a pas toujours été un désert

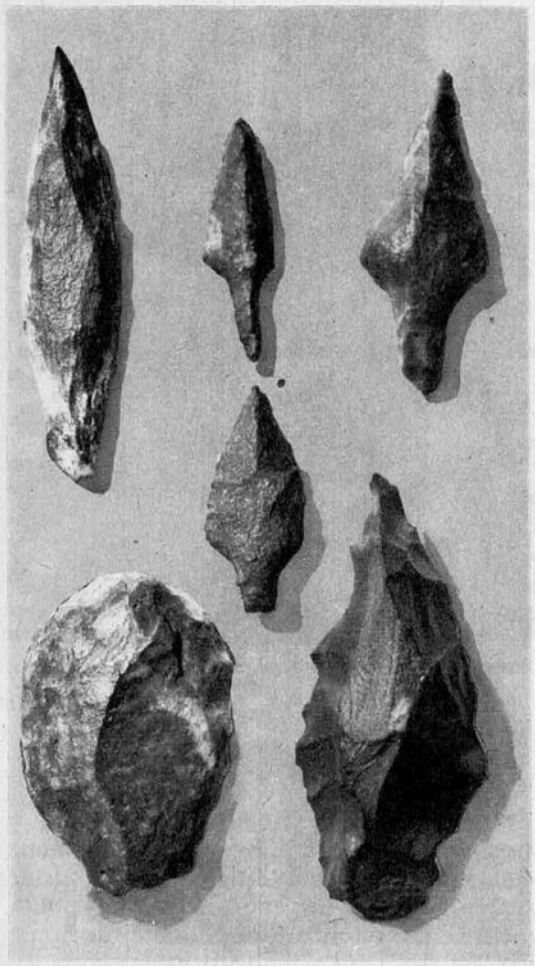


Mission Reygasse, relevé Rigal, Musée du Bardo, ph. Bovis

C'EST vraiment un étonnant contraste que la présence d'innombrables documents préhistoriques sur le sol calciné du plus grand désert chaud de la planète. Il faut donc admettre, et nul n'en doute aujourd'hui, que le Sahara a bénéficié, au cours du Quaternaire, c'est-à-dire dès lors que l'Homme existait, de pulsations climatiques humides qui y ont provisoirement assuré des conditions de vie infiniment plus favorables que celles qu'on y subit depuis l'époque historique et de nos jours encore. Et c'est même au plus près de nous, à la fin des temps préhistoriques, dans les derniers millénaires qui précèdent l'Ère chrétienne, que le contraste est le plus vif : le Sahara est alors le foyer d'une admirable civilisation dont la joaillerie des silex taillés,

les pierres polies et les sculptures de ronde bosse, les innombrables gravures et les galeries de peintures rupestres sont l'éblouissant témoignage.

De ce fait, la connaissance de la préhistoire saharienne est un élément nécessaire de la connaissance du Sahara quaternaire. Les habitats humains, la faune et la flore dont ils ont pu conserver la trace, les animaux figurés dans l'art rupestre, sont, à cet égard, des données de premier ordre. Des analyses très récentes ont révélé que les pollens semés par le vent, les graines incluses dans un foyer néolithique de l'Immidir, aux portes du Hoggar, appartenaient sans exception à une flore méditerranéenne qui couvrait alors les montagnes du Sahara central, et dont l'olivier de Laperrine et les cyprès sont bien les actuelles reliques. Ce n'étaient alors que pins d'Alep, chênes verts, oliviers, micocouliers, jujubiers, mêlés de rares cyprès et de genévriers abondants. Il y avait même des céréales. Plus près des cimes, à 1 700 m d'altitude, s'ajoutaient les cèdres, tandis qu'à In Eker pouvaient prospérer le frêne, l'aulne, même le tilleul.



Ph. Bovis

OUTILLAGE DE L'ATÉRIEN *du Sahara: pointes, grattoirs et burin (gisement de Tiouririne, mission Arambourg), conservé au Musée du Bardo, à Alger.*

Sans doute discutera-t-on longtemps encore sur le nombre, l'alternance, la cause de ces pulsations climatiques. L'étude minutieuse des terrasses de la Saoura, à laquelle s'est consacrée H. Alimen, a apporté des indications remarquables quant à cette succession de périodes pluviales (ou « pluviaires ») et arides. J'ai émis l'hypothèse que le tout était lié aux glaciations quaternaires et que le Sahara avait reçu du Nord, lors des offensives glaciaires, par suite de l'avancée du « front polaire », du Sud pendant les interglaciaires, grâce à l'envahissement de la mousson soudanaise, des chances alternées d'être moins un désert. Quoi qu'il en soit, on parle, pendant la majeure partie des temps préhistoriques, d'un « Sahara des Tchads », parsemé de lacs et de lagunes où s'ébrouaient les hippopotames et que hantait toute une faune aujourd'hui reléguée dans les savanes, du Soudan au Zambèze : éléphants, rhinocéros, buffles, etc. On s'imagine, à la fin des temps préhistoriques, un « Sahara des Égyptes », aux oueds pérennes, aux villages de pêcheurs néolithiques, aux pasteurs de bovidés, aux guerriers montés sur des chars tirés par des chevaux, et ceci jusqu'à l'aube des temps historiques et déjà même aux siècles des Pharaons.

Les industries de la pierre

L'interprétation des pierres taillées ou polies qui sont le squelette minéral difficilement destructible des civilisations préhistoriques, c'est-à-dire ce qui nous en est parvenu après la décomposition de tout ce qui était périssable : bois, cuir, os parfois, repose de nos jours sur la connaissance des techniques de taille et de retouche des pierres, ainsi que sur celle des formes spécialisées dans tel ou tel usage qui en sont l'aboutissement.

De vieilles étiquettes, qui dorment leur dernier sommeil dans quelques manuels attardés : âge de la pierre éclatée, de la pierre taillée, de la pierre polie, n'ont plus cours. Tout spécialement en Afrique, sous l'influence des préhistoriens de langue anglaise, on parle de nos jours de *Pebble-tools* (galets aménagés), d'*Axes* (haches taillées), de *Flakes* (éclats), de *Blades* (lames), chacune de ces techniques ayant la valeur d'une étape

du progrès humain au cours des temps préhistoriques. On a même voulu y voir, d'une manière trop absolue comme tout ce qui est trop schématique, le reflet de quatre états successifs de l'intelligence : la Pebble-Culture serait l'œuvre de ces petits « singes-hommes » (Ape-men), que l'on a découverts depuis 1924 en Afrique du Sud et que les anthropologistes désignent sous le nom savant d'*Australopithèques*. Les « coups de poing » ou haches taillées auraient été conçus et exécutés par les Pithécanthropes, dont le représentant nord-africain serait l'Atlanthrope de Ternifine (Mascara). La taille des éclats serait le fait de l'homme de Neandertal. Les industries sur lames marqueraient le premier apport de nos lointains ancêtres, les vrais hommes (*Homo sapiens*) de la dernière partie du Paléolithique.

La série archéologique saharienne

Même si les formes humaines qui les manufacturèrent nous sont inconnues ou encore en discussion, toutes les étapes qui leur sont attribuées sont présentes au Sahara, mais avec une originalité qui les distingue à la fois de l'Afrique plus méridionale, du Maghreb et de l'Europe.

La série archéologique saharienne comprend, en effet :

1° une *Pebble-Culture* de galets sommairement aménagés qui a son pendant dans toute l'Afrique, mais paraît, dans l'état actuel des découvertes, plus récente ici qu'au Maghreb et en Union Sud-africaine;

2° un *Acheuléen*, groupant toutes les industries à « coups de poing », sans qu'on puisse y distinguer des stades évolutifs aussi nettement qu'au Maroc, au Tanganyika ou au sud du Congo;

3° un *Atérien*, industrie sur éclats limitée au quart nord-ouest de l'Afrique, et qui tient lieu ici du Moustérien de l'Europe;

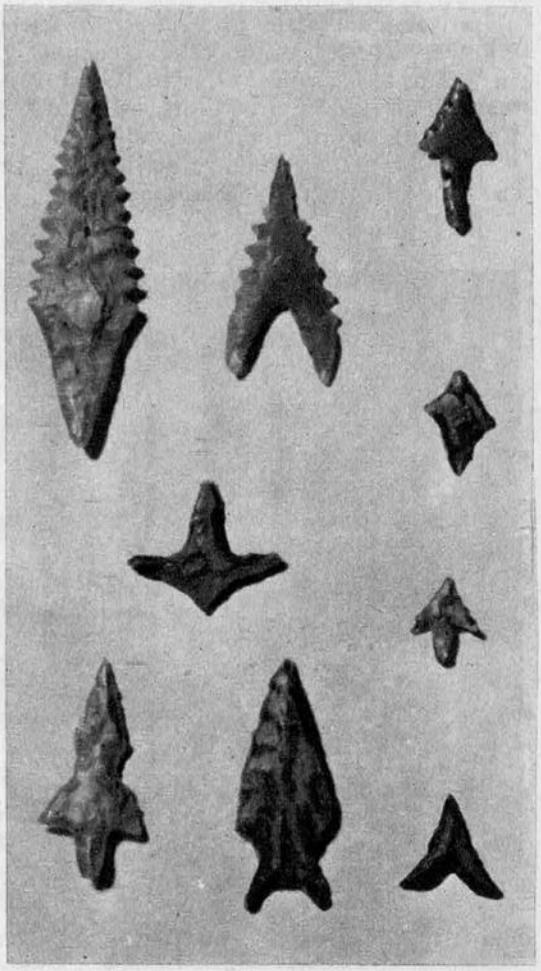
4° un *Capsien*, industrie sur lames prolongeant celle qui paraît avoir son foyer en Algérie orientale et en Tunisie, et dont l'existence est tout juste soupçonnée au Sahara;

5° un *Néolithique* qui, au contraire, fait du grand désert un des plus brillants foyers de civilisation préhistorique du monde.

Certes, la position chronologique absolue de ces cinq stades est extrêmement hypothétique. Le plus récent a quelque probabilité d'avoir occupé les derniers millénaires avant l'ère chrétienne et peut-être jusqu'aux environs de celle-ci; le Capsien est daté, dans le Maghreb, avant et après le VI^e^ millénaire (Capsien évolué, vers 5 000 av. J.-C.; Capsien plus ancien vers 6 500; Néolithique post-Capsien en 3 000). En Cyrénaïque, les mêmes procédés de datation (expérience du « carbone 14 ») auraient situé l'homme de Neandertal vers — 40 000. On parle de 600 000 ans pour le vieil Acheuléen et du million d'années quant aux débuts de la Pebble-Culture, qui représente le premier témoignage d'hominisation qui nous soit perceptible.

A l'aube de l'Humanité, les galets taillés de la « Pebble-Culture »

C'est en Afrique orientale (Ouganda, Tanganyika); centrale (Congo, Angola) et méridionale (Rhodésie, Transvaal, Natal, Mozambique), que ces formes élémentaires



Ph. Bovis

***POINTES DE FLÈCHES** de types rares dont certaines sont en réalité des hameçons (Néolithique saharien, collection Thiriet, conservée au Musée du Bardo).*

ont d'abord attiré l'attention. On les trouvait parfois dans les mêmes alluvions anciennes que les diamants (les « Red Potato Gravels » de la vallée du Vaal) et l'on aurait voulu établir un lien d'œuvre à auteur entre ces pierres si frustes et les « Ape-Men », ces êtres si primitifs encore, plus singes qu'hommes, que seule l'attribution d'une « industrie » permettrait de leur accorder d'avoir franchi le seuil de l'hominisation.

Le Maghreb devait, après des indices anciens trop longtemps mal interprétés, révéler en 1947 le gisement désormais célèbre de l'Aïn Hanech, entre Sétif et Constantine. L'âge quaternaire très ancien y était attesté par la géologie et par les restes fossiles d'une faune disparue. C'était là un phénomène général dont l'extension était bientôt démontrée de la Tunisie jusqu'au Maroc.

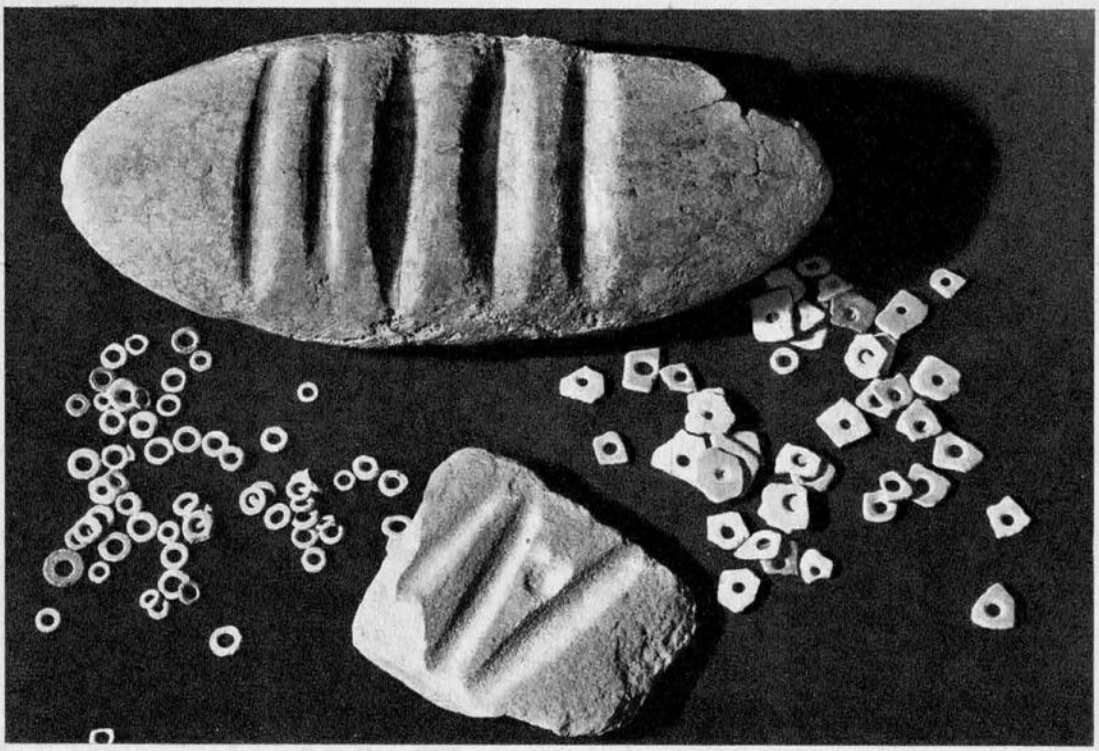
La première série de *Pebble-tools* scientifiquement étudiée fut celle recueillie en 1952 dans le bassin du Draa par G. Mortelmans. Puis H. Hugot, alors instituteur à Aoulef, découvrit une importante station, assez riche pour permettre de définir et de classer des formes systématiques.

Tantôt le galet a été d'un seul coup fracturé en biseau simple; tantôt le biseau est double et l'on passe ensuite à un véritable tranchant en ligne brisée. Plus de vingt types ont déjà été décrits en Afrique Sud-saharienne et certains se retrouvent ici.

Leur intérêt est considérable : c'est la preuve d'une présence humaine au Sahara dès la période initiale de l'Humanité et que ceci se passe tout au début des temps quaternaires. Ce qui ne veut pas dire que le Sahara soit le berceau de l'Humanité : la variété des Pebble-tools, les formes évoluées de certains obligent à chercher ailleurs, et pas forcément en Afrique, l'endroit où naquit l'idée d'enlever un éclat à un galet pour le rendre plus offensif, c'est-à-dire l'*intelligence* qui guida ce geste *humain* que les anthropoïdes les plus évolués n'avaient jamais fait et ne devaient jamais faire.

L'Acheuléen saharien : ses « coups de poing » et ses hachereaux

On sait que le terme « Acheuléen » est emprunté au nom d'un faubourg d'Amiens et qu'il désigne l'ensemble des industries à



Ph. Bovis

RONDELLES EN TEST *d'œuf d'autruche, à divers stades de fabrication, pour la confection d'un collier. La forme circulaire assez régulière et le calibrage ont été obtenus par frottement sur les polissoirs (Musée du Bardo).*

« coups de poing » du Paléolithique inférieur. Si, en Europe, on en distrait le stade le plus ancien sous le nom d'Abbevillien, il n'en est pas de même en Afrique, où cet ensemble est si peu susceptible de divisions calquées sur celles de la France que l'on parle, en Afrique du Sud, de « Chelles-Acheul » et, au Sahara comme en Afrique du Nord, d'« Acheuléen », tout simplement.

Dans le Maghreb et surtout au Maroc, on a pu distinguer plusieurs épisodes évolutifs de l'Acheuléen, grâce à la stratigraphie des dépôts alternativement continentaux et marins du littoral atlantique. Au Sahara, nous n'en sommes pas encore là, et, faute de stratigraphie, celle-ci n'ayant donné que tout récemment ses premiers repères dans la vallée de la Saoura, l'Acheuléen apparaît comme un tout, bien que des formes de technique archaïque contrastent avec d'autres, très évoluées.

L'Acheuléen saharien, comme celui de toute l'Afrique, comporte deux formes essentielles : le « *coup de poing* » ou « hache taillée », termes abusifs car ils suggèrent un emploi certainement faux, aussi préférons-nous le terme technique « biface »; le *hachereau*, éclat aménagé systématiquement et sur l'évolution duquel repose notre actuelle classification de l'Acheuléen, à la suite des travaux de J. Tixier.

Les bifaces ont été débités bloc contre bloc, sur enclume, en partant d'un rognon de matière première ou même d'un grand éclat; ils seront aussi taillés au percuteur manuel de pierre, puis au rondin de bois ; mais chacun de ces procédés subsistera et c'est l'emploi du plus récent qui date un ensemble industriel.

Leur abondance au Sahara est remarquable. Parmi les plus importants gisements aujourd'hui assez bien connus : Tabelbalat — Tachenghit et la Saoura (Sahara occidental), Aoulef Chorfa (Tidikelt), Tejerhi (Fezzan), Tihodaïne (au pied du Tassili-n-Ajjer), ce dernier est sans conteste le plus remarquable.

Dès 1861, H. Duveyrier avait eu connaissance de la présence, en un lieu dit « Tehôdayt-tâ-Tamzerdja », de débris d'un mammifère fossile si grand qu'une femme pouvait « s'asseoir à l'aise dans la cavité de l'articulation coxo-fémorale ». Pourtant, il s'agissait d'une région aujourd'hui désolée, couverte de dunes, sans points d'eau, l'Erg Tihodaïne, au pied du Tassili-n-Ajjer.

C'était un lac autrefois. Sur ses rives occidentales ont campé les hommes acheuléens. Leurs outils et toute une faune des savanes ont été ensevelis dans les dépôts lacustres et sous eux. Ce sont ces diatomites blanches étincelantes au dur soleil du désert qui, aujourd'hui, apparaissent dans les sahanes entre les dunes. Là où l'érosion les a enlevées, le sol est jonché d'industrie préhistorique, faite en quartz ou plus souvent en roche éruptive, et aussi d'ossements : éléphants, rhinocéros, zèbres, hippopotames, buffles, antilopes, gazelles.

L'industrie lithique de Tihodaïne, comme celle de tout l'Acheuléen du Sahara, comporte, à côté des « bifaces », des éclats aménagés systématiquement en une forme que nous appelons « hachereau ». Il y a là un objet remarquable et très caractéristique de l'Afrique. J. Tixier a récemment étudié sa technique et son évolution. Le point commun à tous les hachereaux est d'avoir un tranchant naturel plus ou moins perpendiculaire au grand axe de la pièce. Plusieurs stades ont pu être ainsi définis depuis le hachereau élémentaire sur galet jusqu'au type « standardisé » connu jusqu'ici du seul Sahara occidental, dans la région de Tabelbalat-Tachenghit. Aux derniers stades, la technique de taille est d'une rare complexité, puisque l'outil est préfiguré dans le bloc de matière première et préparé dans sa masse au point que le dernier coup, détachant l'éclat, livre un objet fini. Ce dernier coup est toujours porté au même endroit.

Une civilisation bien africaine : l'Atérien

En Europe et particulièrement en France, à l'Acheuléen succède le Moustérien, industrie de l'homme de Neandertal, qu'il développe au cours de la dernière période glaciaire (Würm). C'est, pour le préhistorien, le « Paléolithique moyen ».

En Afrique du Nord et au Sahara, l'homme de Neandertal n'a presque pas laissé de traces (Maroc, Cyrénaïque), et l'industrie que nous lui attribuons est si originale qu'on lui donne un nom spécial : « Atérien », emprunté à un gisement très important situé près de Bir el-Ater, très au sud de Tébessa.

L'Atérien est connu des rivages de l'Atlantique marocain jusqu'au Nil et du littoral méditerranéen jusqu'au Soudan, qu'il ne pénètre cependant pas. C'est bien une « culture » préhistorique propre au Nord-Ouest de l'Afrique, et il n'est absolument pas prouvé qu'elle ait jamais franchi le détroit de Gibraltar, contrairement à ce que l'on a plusieurs fois affirmé.

Au Sahara, on a signalé des industries qui pouvaient, d'après leur facture, prendre

place entre l'Acheuléen et l'Atérien, à Tiguelgemine (Immidir), Esselesikine (Hoggar), mais il ne semble pas qu'on les ait correctement interprétées. Par contre, l'Atérien est présent dans de vastes régions. La carte de H.-J. Hugot (1957) porte 55 points et le décompte n'est que provisoire, car il exige une enquête exhaustive dans une documentation écrite fragmentaire, éparse et disparate. De riches récoltes ont pu être faites autour de Beni-Abbès, de Tabelbalat, parfois même dans des gisements enterrés (monts d'Ougarta). Au Tidikelt, la matière première utilisée par l'artisan préhistorique est le bois fossile, fortement silicifié, d'une formation géologique crétacée. Le plus intéressant gisement atérien du Sahara est néanmoins celui de Tiouririne, découvert en 1949.

Le gisement de Tiouririne

Nous sommes presque au centre de l'ancienne cuvette lacustre de Tihodaïne, celle-là même dont les bords avaient été fréquentés par les hommes acheuléens tailleurs de bifaces et de hachereaux. Le lac est alors en voie de disparition. Vers le centre se dressent les arêtes rocheuses d'une île que le colmatage va peu à peu rattacher aux rives. C'est maintenant sur celle de l'Est que les hommes atériens se sont installés : le sol, là où la dune, de formation relativement récente, ne le masque pas, est jonché de leur industrie.

Celle-ci est presque toute en roche éruptive (rhyolite). La découverte récente du gisement, les récoltes scientifiques faites par le professeur Arambourg nous incitent à le prendre comme type de l'Atérien du Sahara. En effet, il est jusqu'ici le seul à remplir ces trois conditions essentielles : être suffisamment riche, être vierge de tout « écrémage » par des collectionneurs ignorants, avoir été prospecté par un spécialiste.

L'outillage recueilli à Tiouririne comprend quatre éléments : des pierres taillées communes à l'Atérien et au Moustérien d'Europe, éclats généralement aménagés en pointes ou en racloirs, « bolas » que l'ethnographie nous permet d'interpréter comme étant une arme de jet; des formes propres à l'Atérien, caractérisées par leur pédoncule plus ou moins dégagé qui facilita l'emmanchement (pointes, grattoirs); des objets sur lames de pierre, qui annoncent certaines formes plus évoluées (grattoirs, burins); des éclats taillés sur les deux faces, comme autrefois les « coups de poing » acheuléens, mais beaucoup plus petits, minces, allongés et parfois même pédonculés.

L'originalité de cet Atérien est donc grande. Il est très probable qu'il se soit développé ici jusqu'à une époque relativement tardive puisque, nous allons le voir, l'entrée en scène, au Sahara, de l'espèce humaine à laquelle nous appartenons encore (*Homo sapiens*) et qui remplace les Neandertaliens, est un fait décalé de plusieurs millénaires au Sahara par rapport à l'Europe occidentale et même au Maghreb.

L'« hiatus » saharien

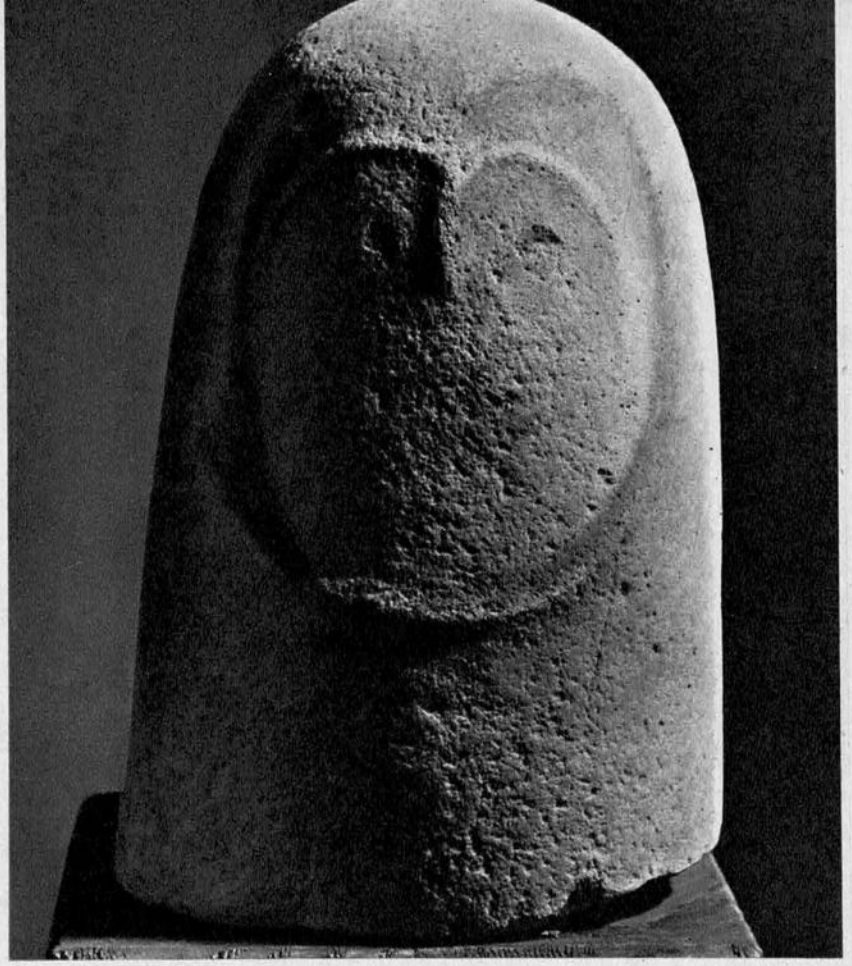
En France, les civilisations préhistoriques d'*Homo sapiens* comprennent d'abord toutes celles de l'« Age du Renne », ou Paléolithique supérieur (Aurignacien, Solutréen, Magdalénien), puis le Mésolithique et enfin, avec le polissage, la céramique, l'agriculture et l'élevage, la grande époque du « Néolithique ».

En Afrique du Nord déjà, il est loin d'en être ainsi : à l'Atérien succèdent deux civilisations originales, l'« Ibéromaurusien » sur le littoral et le « Capsien », limité à l'intérieur du Maghreb oriental. Puis vient le Néolithique, et tout cela se passe, si l'on en croit les indications trop peu nombreuses données par la recherche du Carbone 14 dans les charbons végétaux des foyers préhistoriques, dans les dix derniers millénaires avant notre ère.

Au Sahara, le problème est plus délicat encore, car rien ne semble se glisser entre l'Atérien et le Néolithique, au point qu'on a pu penser que le désert avait été absolument inhabitable entre la disparition des Neandertaliens et l'arrivée tardive des premiers *Homo sapiens* connaissant déjà l'art du polissage. C'est l'*hiatus* saharien, comparable à cette lacune qui avait longtemps semblé séparer, en Europe, la fin de l'Age du Renne du Néolithique.

Comme il y a un demi-siècle en France, l'hiatus saharien se rétrécit devant les découvertes et les observations nouvelles. En un mot, nous savons depuis quelques années que le *Capsien* du Maghreb n'est pas absent du Sahara. Ici comme là, il prend place entre l'Atérien et le Néolithique.

On sait que le Capsien, qui tire son nom de Capsa, aujourd'hui Gafsa (Tunisie), est une belle industrie d'éclats et surtout de lames dont les grands couteaux, ou lames à bord abattu formant un dos, et les burins sont les éléments les plus représentatifs. Cependant, dès le début, on note la présence de fines armatures de silex (lamelles



Pierre sculptée anthropomorphe de Tabelbalat

Ph. Bovis

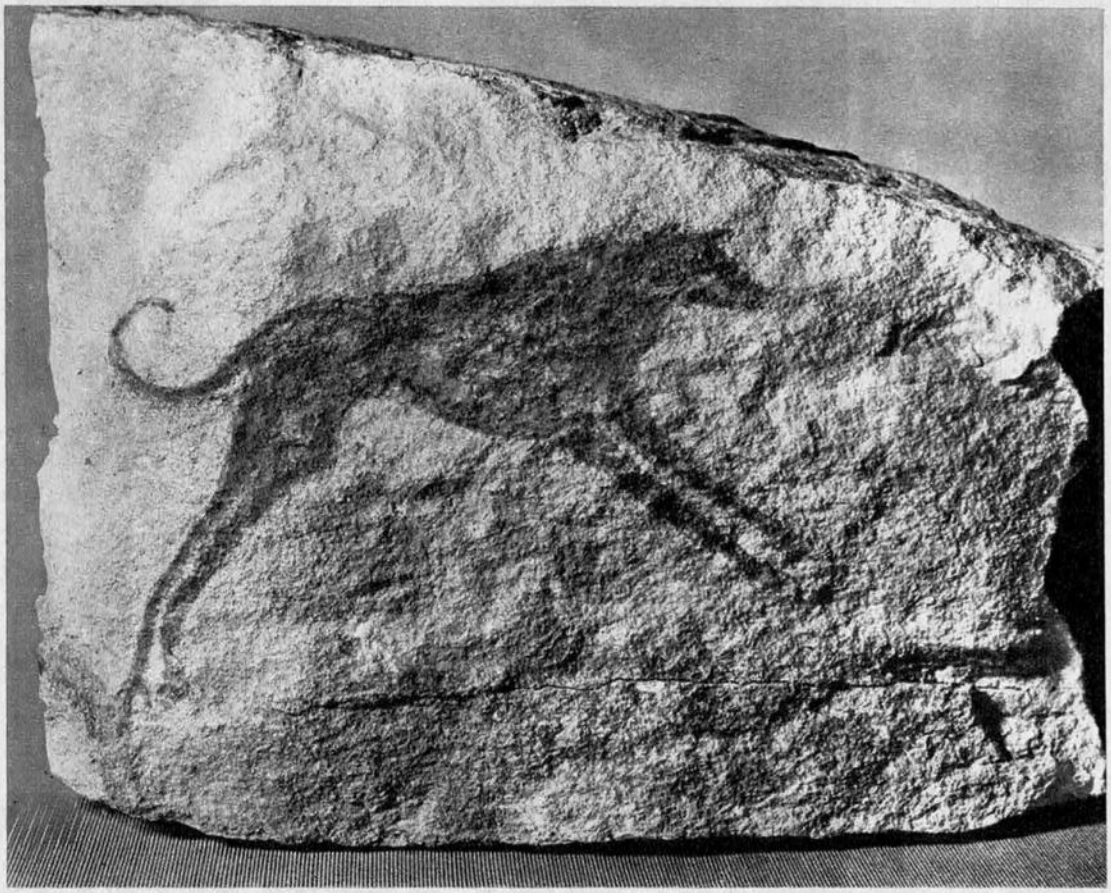
en forme de canif) parfois géométriques (trapèzes). Ces armatures prolifèrent dans le Capsien évolué au dépens des objets plus volumineux et lourds.

Des faits analogues ont été récemment observés au Sahara : formes du Capsien typique ou armatures du Capsien évolué, dans la région d'El-Oued et d'Ouargla, en remontant le tracé de l'Oued Mya (Tilmas Merdjouma), au sud du Tademaït (Aïn Guettara, Tidikelt) et jusqu'à Reggane.

Le Néolithique de « tradition capsienne »

C'est sur ce fond capsien que vont se greffer les apports néolithiques. Être néolithique, c'est pratiquer le polissage de la pierre et surtout connaître la céramique, la domestication et l'élevage, l'agriculture. L'ensemble de ces révolutions décisives dans le genre de vie des hommes fait du Néolithique une des plus grandes périodes de progrès de l'Humanité, celle dont le souvenir resta peut-être dans la mémoire des Anciens sous la forme des légendes de l'Age d'or.

Au Sahara, tout cela se superpose généralement à l'héritage capsien. Transportons-nous, par exemple, au bord de la lagune d'Ouargla. Sur la rive envasée, le sable blond est tacheté de gris bleu. Si on le gratte un peu, la cendre apparaît plus dense et tout est jonché d'éclats de silex que le vent sans cesse exhume ou recouvre, sur plusieurs centaines de mètres carrés. Un criblage toujours nécessaire fera apparaître les minuscules armatures géométriques, surtout les trapèzes, reçues du Capsien, et aussi les rondelles d'œuf d'autruche, parfois des fragments plus gros, portant un décor incisé. Les meules dormantes et les molettes, les boules perforées servant à lester les bâtons à fouir, le polissage de l'os, étaient déjà connus des Capsiens; mais l'artisan néolithique du Sahara va exalter toutes ces techniques et aborder les plus difficiles, celles de l'Art.



Ph. Bovis

***PEINTURE RUPESTRE DU MUSÉE DU BRADO** à Alger provenant de la grotte de Tamadjert dans le Tassili des Ajjers et représentant un lévrier d'Afrique.*

Le Néolithique saharien

Il n'est sans doute aucun touriste, fût-il celui d'une seule journée, qui soit allé jusqu'à Bou Saâda ou Biskra, c'est-à-dire assez loin encore du vrai Sahara, sans en rapporter au moins une de ces pointes de flèches taillées à minuscules facettes, dont certaines sont de vrais bijoux. A fortiori les autres, tous ceux, militaires ou civils, qui ont affronté le désert au temps des méharées, tous ceux qui, aujourd'hui le sillonnent en Land-Rover et sondent ses derniers recoins de *Terra incognita*.

Partant d'un petit éclat de silex plutôt que d'une lamelle et le taillant par pression d'un « compresseur » généralement en os, l'artisan néolithique a obtenu ces armatures de flèches dont nous ne savons pas encore aujourd'hui reproduire expérimentalement toutes les variétés. L'inégalable virtuosité technique s'affirme dans la multiplicité invraisemblable des formes, qui vont du simple triangle à base incurvée jusqu'aux « Tour Eiffel », aux « Pistilliformes », aux « Pointes à écusson », voire jusqu'aux hameçons de silex. La qualité de la matière parfois translucide, la richesse et la variété des couleurs, l'admirable vernis du désert font de ces pierres des objets de parure.

Leur usage était tout autre et sans doute multiple. Que l'arc ait été connu des Sahariens de ce temps ne fait aucun doute : les figurations n'en manquent pas dans l'art rupestre. On peut aussi lancer des flèches avec la sarbacane ou en s'aidant d'un propulseur. Le premier procédé n'est pas attesté au Sahara, le second n'a peut-être pas été inconnu.

Les formes des pointes de flèche avaient une signification. Il suffit pour penser ainsi de jeter un coup d'œil sur la variété des armatures métalliques actuelles de l'Afrique Noire. Les pointes de silex sans pédoncule,

à base plus ou moins concave, adhèrent mal au roseau fendu qui sert de hampe : elles resteront dans la plaie même si la hampe se détache, ou est arrachée par le blessé. Les autres, avec leur soie, leurs crans retenant les ligatures, font corps avec la hampe qui entravera la fuite de la victime, et ne peut être arrachée sans ouvrir la blessure. D'autres enfin, qui se rattachent par leur technique aux trapèzes capsiens, ont leur tranchant transversal. C'est là une forme au premier abord surprenante et aujourd'hui bien connue. L'armée des Pharaons l'a longuement utilisée.

Outillage de pêche

On chasse aussi la faune aquatique. Certaines de nos pointes de flèches ont pu être destinées à atteindre des poissons. J'ai lu qu'il en était encore ainsi, avec des armatures de métal il est vrai, sur le Haut-Kassai. Dès 1872, l'hypothèse a même été émise que la dissymétrie de certaines pointes (à un seul aileron ou à 2 ailerons inégaux), pouvait avoir eu pour but de dévier la flèche en pénétrant dans l'eau, de manière à corriger l'erreur de visée due à la réfraction !

Mais il existe d'indiscutables hameçons de pierre, à côté de ceux d'os et, sur les bords du Nil, de coquille taillée. Voici enfin des poids de filets, à la rainure caractéristique, et des harpons à un ou deux rangs de barbelures, que le Saharien étonné ramasse au milieu de débris de grands poissons, là où s'élevèrent des villages de pêcheurs néolithiques, sur les bords d'oueds ou de lagunes, là où règne aujourd'hui le désert.

Et nous n'avons que des épaves. L'hameçon de bois, le plus simple, le plus économique de temps et de travail, ne s'est pas conservé. Peut-être certaines amulettes de pierre polie, d'un travail surprenant, nous en ont-elles gardé la forme : une sorte d'ancre très ouverte avec tenon perforé, qui fait penser aux « hains » ou hameçon droits, connus depuis l'Age du Renne et encore utilisés pour pêcher l'anguille en Gironde.

Les pointes de flèches ne représentent que l'élément le plus connu de l'outillage lithique du Néolithique saharien. Les « couteaux » en sont un autre, non moins remarquable. Ces grands objets de silex, de forme ovale plus ou moins régulière, parfois arquée, sont admirablement taillés sur les deux faces par le moyen de cette retouche « en pelure » dont la finesse, la longueur et la régularité suscitent notre étonnement. De tels objets sont célèbres dans le Néolithique de l'Égypte et c'est pour cela que nous sommes en droit de les appeler « couteaux » : on en connaît à manche d'ivoire et même d'or.

La pierre polie

Si le polissage des pierres n'était pas une technique inconnue des prédécesseurs des Néolithiques, ceux-ci l'appliquent systématiquement et avec un art consommé à de nombreux objets, en particulier aux haches. Les pierres les plus dures, les plus belles aussi, leur sont réservées. Les dimensions vont de la grande cognée, de la taille de la main, à la minuscule hachette, objet votif ou jouet. Dans le Ténéré, une gorge régulière, en forme de gouttière parfaitement polie, fait le tour de l'objet parallèlement au tranchant mais vers l'extrémité opposée. Son but était certes de faciliter l'emmanchement, mais sa technique est déjà celle du sculpteur de ronde bosse.

Dans les vitrines du Musée du Bardo, à Alger, s'alignent, à côté des haches et herminettes, les grands pilons, qui peuvent dépasser 50 cm, les broyeurs, les ciseaux de pierre au tranchant admirablement profilé. Voici les très rares écuelles de grès ou de porphyre et les pendeloques en forme d'hameçon. Ces objets carénés qui portent sur une face des gouttières transversales parallèles ont servi, l'ethnographie sud-africaine nous le révèle, à calibrer en série les rondelles découpées dans des œufs d'autruche et qui deviendront grains de colliers, parures, monnaie peut-être.

L'opération vaut d'être décrite; voilà comment pratiquaient récemment encore les Boschimans : une femme brise un œuf d'autruche; avec les dents elle le réduit en menus fragments qu'elle perfore. Elle les enfile ensuite sur un boyau et les serre très fort, « le cylindre de fragments est maintenant posé sur une peau dure, et une pierre creusée d'une gouttière de taille appropriée est employée à le frotter de façon à donner par usure aux perles de coquille une forme circulaire régulière ».

On recueille, dans nos gisements sahariens, des fragments de coquille à tous les stades de cette manufacture, ainsi que les polissoirs.

La sculpture de ronde bosse

Comme dans l'Égypte pharaonique, le difficile polissage des granites, des porphyres, basaltes et roches vertes va de pair avec la sculpture de ronde bosse; et l'existence de celle-ci dans notre Sahara néoli-

thique fait naître en nous un sentiment d'admiration étonnée.

Il ne s'agit pas seulement des mystérieux bétyles à face humaine faussement dénommés « idoles à tête de chouette » que le capitaine Touchard découvrit en 1905 non loin de Tabelbalat. Il y en aurait eu 9 mais 8 seulement sont conservés au Bardo d'Alger. A l'origine, la sculpture de ces blocs se limitait à un bourrelet cernant le visage et à l'indication très schématique des arcades sourcilières et de l'épine nasale. Plus tard, les yeux et la bouche ont parfois été ajoutés, par martelage, ou le tout repris ou complété par peinture.

Bien plus remarquables sont les « statuettes », terme désignant improprement un groupe d'objets qui sont le plus souvent des pilons à extrémité sculptée. On n'en connaît qu'une quinzaine et leurs conditions de découverte sont parfois imprécises ou sans portée scientifique. Le bélier de Tamentit (Touat), l'extraordinaire bovidé de Silet (Hoggar), la gazelle de l'Imakassen et le mouton de Djanet (Tassili-n-Ajjer) sont sans conteste les plus beaux par le dépouillement de leur art, qui n'exclut pas une précision anatomique surprenante. Si l'on ajoute l'antilope de Fort Gardel, le dessin serpentiforme de Silet, les pièces appartenant au même ensemble conservées au Musée de l'Homme de Paris et celles encore inédites qui complètent la vitrine du Bardo, on sera surpris par la qualité de cet art auquel les Touaregs ne comprennent plus rien : ils virent dans la tête de la gazelle de l'Imakassen un lézard, comme on avait travesti le bélier de Tamentit en poisson.

La gravure et la peinture

Il pourra paraître saugrenu de faire une place à la céramique entre la sculpture et la gravure. Cela n'est pas sans raison. La poterie modelée est un des attributs du Néolithique, au Sahara comme ailleurs. Dans le Maghreb et au désert, elle paraît s'être substituée en partie aux œufs d'autruche que la nature renouvelait à l'envi. Les Capsiens déjà décoraient les œufs, près de l'orifice par lequel ils les avaient vidés, d'incisions linéaires qui devaient inspirer la seule grande affaire de faux que la préhistoire nord-africaine ait jusqu'ici à son passif. Des incisions analogues et bientôt plus complexes orneront les pots de terre, mais la pâte encore molle permettra aussi l'impression du doigt, du coquillage, de la roulette, du peigne. Enfin, elle peut être « poussée » dans une vannerie ou un tissage.

L'idée de graver est donc ancienne, prénéolithique. J'ai même soutenu que les premières grandes gravures sur les parois des grottes ou des abris sous roche avaient été faites en pays Capsien, dans les Nemenchas, par ces hommes des escargotières qui gravaient œufs d'autruche et plaquettes de pierre, qui entaillaient les parois de traits profonds et même, à El-Mekta (Tunisie), avaient réalisé des pétroglyphes plus ambitieux. Balbutiements de l'Art, certes, mais qui prennent date pour l'origine de celui-ci, en ce qui concerne l'Afrique du Nord-Ouest.

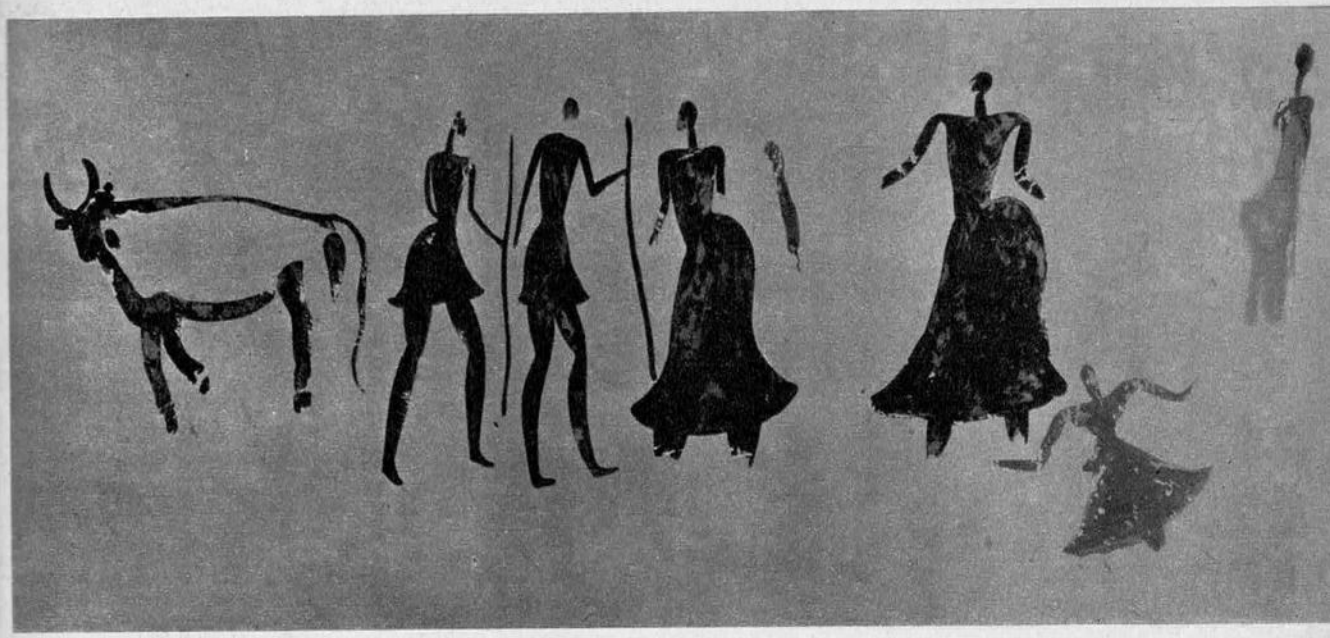
Au Néolithique, c'est tout l'Atlas saharien, des Nemenchas au Sud-Oranais, qui prête ses dalles au graveur : curée aux sangliers du Kef Messiouer, Bubales de l'Oued Hallail et de Khenchela, Antilope blessée de Ksar-Zaccar, galeries d'art du Djebel Amour et des monts des Ksour, dont les premières gravures paraissent avoir été relevées, à Tiout, dès 1849, par le médecin-major Armieux. Tour à tour Flamand, dans ses *Pierres Écrites*, les « Hadschra Maktuba » de Frobenius et Obermaïer, l'*Art rupestre nord-africain* de R. Vaufrey, ont fait connaître cet étonnant ensemble que H. Lhote a récemment enrichi.

Mais il n'y a point de gravures rupestres que dans l'Atlas. On pourrait dire que toutes les régions sahariennes offrant des dalles de pierre peuvent en révéler et beaucoup d'entre elles l'ont déjà fait. L'ensemble de roches gravées du Sahara est, à l'image de celui-ci : le plus grand du monde.

Ce n'est point dire qu'il soit le mieux connu. La chronologie relative des œuvres d'art préhistoriques est bien établie lorsqu'il y a rapport étroit avec un stade industriel bien défini. On ne connaît pas encore, au Sahara, de gravure (ni de peinture) rupestre qui soit masquée, en tout ou partie, par un dépôt archéologique datable. Il y a souvent juxtaposition d'industrie néolithique, et c'est tout. Aussi notre classification repose-t-elle sur la facture et les patines, sur les styles et les sujets figurés; mais ces critères n'ont pas la portée générale que l'on souhaiterait.

Il en est à peu près de même pour les peintures.

On a bien fini par admettre la haute antiquité des grottes peintes de France et d'Espagne : leurs fresques datent du Paléolithique supérieur, l'Age du Renne. Nul n'a mis en doute les peintures actuelles ou subactuelles des Australiens ou des Boschimans. Il nous faut aussi accepter, et admirer, les galeries d'Art pictural du Sahara. Les foyers principaux en sont à coup sûr le Hoggar et le Tassili-n-Ajjer.



Relevé Rigal, Ph. Bovis

SUR CETTE PEINTURE RUPESTRE, *on remarque la tunique courte des hommes et les « jupes à cloche » des femmes que l'on a rapprochées de figurations analogues découvertes en Espagne. Couleur très rouge des sujets sauf à droite, où plusieurs sont effacés et un autre paraît plus récent. (Musée du Bardo.)*

Ce fut certes une révélation que la publication par Chasseloup-Laubat des découvertes faites par l'expédition alpine française du Hoggar (1935) dans la Téfedest, et si les relevés du colonel Brenans dans le Tassili devaient rester inédits jusqu'au Congrès Panafricain d'Alger de 1952, M. Reygasse, grâce aux aquarelles de Rigal dans l'oued Djorat, Yolande Tschudi et plusieurs autres préfaçaient le grand livre de la peinture tassilienne dont H. Lhote vient de rapporter et d'exposer à Alger, puis à Paris, l'éblouissante illustration.

Il ne sera pas facile à écrire car, malgré les fréquentes superpositions sur un même panneau, une chronologie d'ensemble est encore à définir. Pour l'instant, on étudie les techniques et les styles, on classe les sujets figurés et l'on interprète les scènes. Des « étages » se précisent et une succession s'établit.

Pour le préhistorien, c'est le but principal. Il n'enlève rien à la valeur esthétique des peintures et à l'émotion artistique qu'elles font naître; et l'on n'en admire pas moins ces girafes, ces autruches, ces troupeaux de bœufs au paturage, ces chasses au mouflon, ces chars des Garamantes lancés au galop volant, et ces scènes de la vie de tous les jours que l'abbé Breuil a si pertinemment déchiffrées.

Bien avant le temps des peintures rupestres, le Sahara déroule donc devant nous une invraisemblable fresque. Elle commence à l'aube de l'Humanité, avec les galets sommairement aménagés de la Pebble-Culture, elle s'amplifie lors de la colonisation acheuléenne, dans un paysage soudanais de lacs, de fleuves et de gros herbivores. Puis vient l'Atérien, que véhicule sans doute l'homme de Neandertal. Enfin, après les jalons capsiens, le Néolithique prend son essor et fait du Sahara un des plus grands foyers de civilisation du Monde.

En bref, lorsqu'on parle Préhistoire, on ne doit plus penser Sahara. Il faut chasser tout ce que ce mot implique actuellement de misère du sol, des oueds, des plantes, des animaux, des hommes. La mort du Sahara préhistorique fut un cataclysme géographique total : tout y a sombré, la terre arable, la végétation, la faune qu'elle nourrissait, l'industrie et l'art des hommes.

Sans doute ce passé relativement récent du désert est-il mort pour toujours, mais, juste retour des choses, n'est-ce-pas d'un passé géologique infiniment plus ancien que le Sahara tire ses promesses d'avenir ?

Lionel BALOUT
Professeur à l'Université d'Alger

SAH

LE Sahara est le désert le plus vaste du monde. Il s'étend sur 7 millions de km², des chaînons méridionaux de l'Atlas au Soudan, et de l'Atlantique au Nil. C'est aussi la région la plus aride de la terre, celle qui, dans toute sa plénitude, mérite l'appellation de désert.

Le Sahara n'est d'ailleurs que le premier maillon d'une longue chaîne de déserts où les caravanes pourraient théoriquement circuler sans discontinuité, de l'océan Atlantique aux confins de la Chine.

Malgré des aspects convergents, ces déserts sont des ensembles géographiques d'origine très différente : le cœur du continent asiatique est desséché parce que les dépressions atmosphériques, génératrices d'humidité, s'éteignent avant de l'atteindre; la même cause joue aussi pour les régions centrales du Sahara.

Les causes de la sécheresse

Mais d'autres causes d'aridité s'ajoutent aux précédentes, et c'est là l'originalité du Sahara par rapport aux autres déserts de l'Ancien Monde. Le grand désert africain ne résulte pas seulement des particularités topographiques de ce continent; il est imposé par la structure de l'atmosphère, par un phénomène qui est à l'échelle du globe et non plus seulement à celle d'un continent. Entre le tropique du Capricorne et le tropique du Cancer, qui traverse le Rio de Oro, le Tanezrouft, le Hoggar et passe entre le Fezzan et le Tibesti, les rayons du soleil à midi sont au zénith, perpendiculaires à la surface du sol, ou peu éloignés de l'être. Dans l'axe de cette zone, un véritable four naturel est réalisé en permanence et l'air surchauffé, qui s'élève et se détend en altitude pendant une bonne partie de la journée, est à très basse pression. L'air qui s'est élevé au-dessus de ce que l'on a appelé la *cheminée équatoriale*, se répand tout autour, vers l'hémisphère sud, ce qui ne nous intéresse pas ici, mais aussi vers le nord, c'est-à-dire vers le Sahara. Il est dévié vers le Nord-Est par suite de la rotation de la Terre, rabattu au sol et s'accumule aux alentours du tropique en une énorme masse à haute pression, dont l'air est attiré vers l'équateur où la pression de l'air est plus faible.

ARA

En réalité, cette explication qui date des débuts de la météorologie doit être complétée à la lumière des travaux des écoles norvégienne et américaine de météorologie : les masses d'air à haute pression sont divisées en deux cellules, dont la plus occidentale, seule, l'*anticyclone des Açores* est en liaison avec la structure générale de l'atmosphère; l'air apporté par le contralizé s'accumule sur le Sahara occidental plus qu'ailleurs, parce qu'au delà, la grande masse de l'air polaire froid et lourd le refoule sans cesse, avec des alternatives saisonnières diverses. De toute manière, l'air équatorial qui s'abaisse vers le Sahara, se comprime, se réchauffe et se trouve complètement asséché au terme de son voyage.

Records de température

L'alizé, au Sahara, se lève tous les matins, si bien que l'atmosphère du désert est rarement calme. Cette agitation perpétuelle accentue encore la sécheresse de l'air à proximité du sol. Cet air sec donne des ciels très purs. Mais du fait de l'absence de voile de protection que donnerait la vapeur d'eau, les changements de température sont très sensibles entre le jour et la nuit et entre les différentes saisons. Dans le nord du Sahara, des écarts de 30° entre le jour et la nuit ne sont pas rares. En été, le Sahara est une fournaise infernale; le sol est souvent porté à 60 ou 70°; la température de l'air frise les records mondiaux : 53° à In-Salah, 55°4 à Tindouf; on aurait même enregistré 58° à Azizia, en Libye. La nuit, il est pourtant prudent de ne pas oublier de se munir d'une couverture de laine. L'hiver, au centre et au nord du désert, est nettement plus froid que sur les plaines méditerranéennes de l'Afrique du Nord.

Les possibilités d'évaporation prennent des proportions qui ne sont atteintes nulle part ailleurs; 2,5 m à 6 m de pluies pourraient être évaporés selon les lieux. La pluie est un événement insolite. Partout les pluies sont inférieures à 150 mm par an. Dans les bassins du centre du Sahara, Bilma reçoit en moyenne 22 mm d'eau par an et Reggane 5 mm. Les moyennes donnent d'ailleurs une idée fausse de la réalité, car le cycle des pluies s'étend sur plusieurs années : au

Réserves précaires, les mares saharien

L'eau est si rare dans les immensités désertiques du Sahara que les points d'eau les plus modestes sont des centres de vie. Ils constituent des lieux de rassemblement pour les troupeaux et les tribus nomades et des points de convergence pour les caravanes qui viennent s'y ravitailler et abreuver les chameaux. L'intérêt que les nomades leur portent est

Tademaït, l'intervalle entre deux pluies utiles pour les cultures est en général de trois ans. Dans le Hoggar il atteint cinq ans, dans le Tanezrouft près de sept ans, si bien que, dans cette région, le désert absolu est atteint. Ces chutes d'eau si rares sont pourtant, dans certaines régions, de véritables trombes.

On a cru longtemps que ces cataractes, plus violentes encore que les averses méditerranéennes, étaient le seul type de pluie du Sahara. En réalité, des bruines aussi fines que celles des régions océaniques imbibent parfois l'atmosphère de Tamanrasset et de nombreux autres lieux. Ces pluies fines n'imprègnent pas réellement le sol et s'évaporent rapidement.

La végétation raréfiée

La végétation du désert est, dans ces conditions, extrêmement réduite. Au nord du Sahara, à proximité des montagnes de l'Atlas, la steppe à alfa et à armoise que l'on rencontre dans l'ouest algérien à peu de distance d'Oran quand on se dirige vers

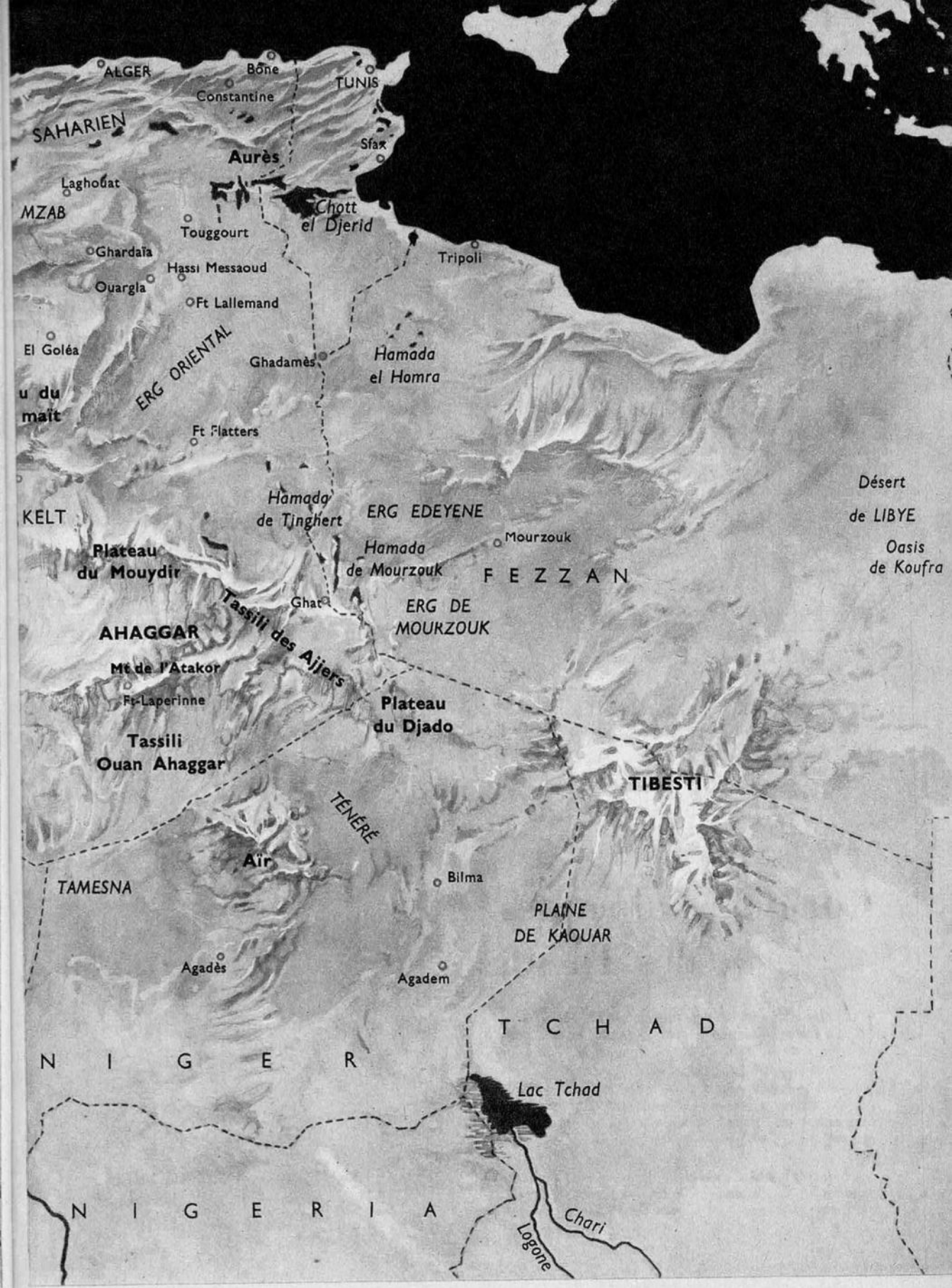
nes s'évaporent sous le soleil brûlant

*tel que le vocabulaire pour les désigner est très riche : **aioun**, sources situées au pied d'escarpements qui limitent des plateaux ; **neba**, suintements entre des dunes ; **ogla**, trous d'eau atteints en grattant le sol ; sur notre cliché, une **guelta** (ou, en tamacheq, langue des Touaregs, **aguelman**), mare de fond d'oued au voisinage d'El Goléa.*

le Sud, couvre toujours le sol de manière discontinue. Mais ces plantes qui ont besoin de quelques pluies chaque année se raréfient vite et le sol, complètement dénudé, s'offre sans protection aux ardeurs du soleil. Toutefois, un certain nombre d'espèces végétales prennent le relai, par des adaptations ou des pré-adaptations étonnantes. Certaines plantes tirent profit avidement des pluies printanières, poussent, fleurissent et déposent leurs graines en quelques semaines; elles forment alors un tapis végétal continu et fleuri, particulièrement dans les fonds d'oueds. D'autres plantes vivaces, munies de bulbes ou de racines profondes et démesurément longues captent la moindre humidité et vivent au ralenti le reste du temps, protégées de l'évaporation par des épines et des feuilles vernissées ou velues. Il existe donc au Sahara une végétation désertique et des pâturages qui permettent aux chameaux de subsister, particulièrement l'*acheb*, le pâturage temporaire de printemps. Mais si la vie végétale n'est pas exclue du Sahara, elle est réduite à des positions de défense et absente

SUITE PAGE 24

Montagnes et plaines sahariennes


ALGER
Bône
Constantine
TUNIS
SAHARIEN
Sfax
Aurès
Laghouat
MZAB
Chott el Djerid
Touggourt
Tripoli
Ghardaïa
Hassi Messaoud
Ouargla
Ft Lallemand
El Goléa
ERG ORIENTAL
Ghadamès
Hamada el Homra
Ft Flatters
Désert de LIBYE
Oasis de Koufra
KELT
Hamada de Tinghert
ERG EDEYENE
Mourzouk
Plateau du Mouydir
Hamada de Mourzouk
FEZZAN
Ghat
ERG DE MOURZOUK
AHAGGAR
Tassili des Ajjers
Mt de l'Atakor
Ft-Laperrine
Plateau du Djado
Tassili Ouan Ahaggar
TIBESTI
TÉNÉRÉ
Aïr
TAMESNA
Bilma
PLAINE DE KAOUAR
Agadès
Agadem
TCHAD
NIGER
Lac Tchad
NIGERIA
Chari
Logone

SUITE DE LA PAGE 21

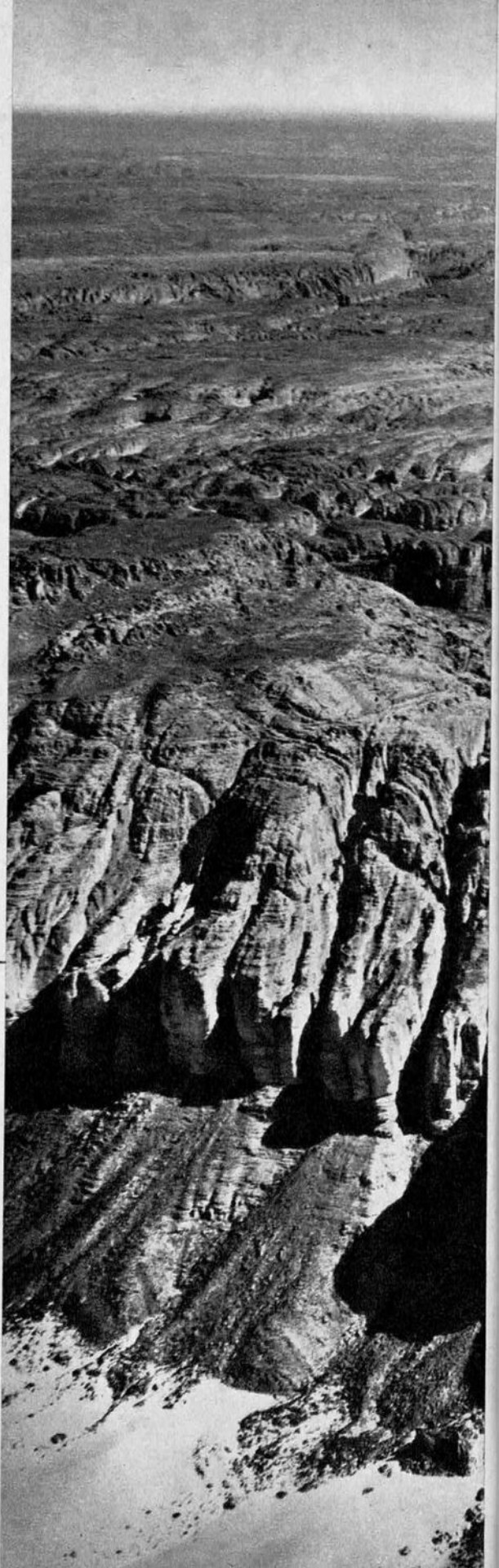
sur des étendues aussi vastes que la France.

Dans de telles conditions, la roche à nu est à la merci des changements de température. La succession quotidienne de phases de dilatation et de contraction de la roche, sensibles sur un double décimètre d'épaisseur, provoque la fissuration et l'éclatement de la partie exposée. Les granites ont tendance à se réduire en sable poudreux.

Cette action du climat sur le relief du Sahara est sans doute ralentie par rapport à ce que l'on enregistre dans d'autres déserts, par suite de la faible quantité d'eau susceptible de geler et d'agir avec efficacité dans la formation du paysage saharien. Toutefois, les sites spectaculaires mis en place par une longue exposition aux intempéries ne manquent pas au Sahara. Ce sont les escarpements en surplomb, les rochers en forme de champignons corrodés à la base par les grains de sable projetés en mitraille par le vent, qui rendent parfois insupportable la marche à travers le désert. Le vent balaie les surfaces planes, enlève les débris fins qu'il accumule dans les secteurs où il perd sa vitesse; il ne laisse que des graviers ou des éclats plus volumineux; il dessine parfois des zébrures ou des stries entrecroisées sur les plateaux de grès.

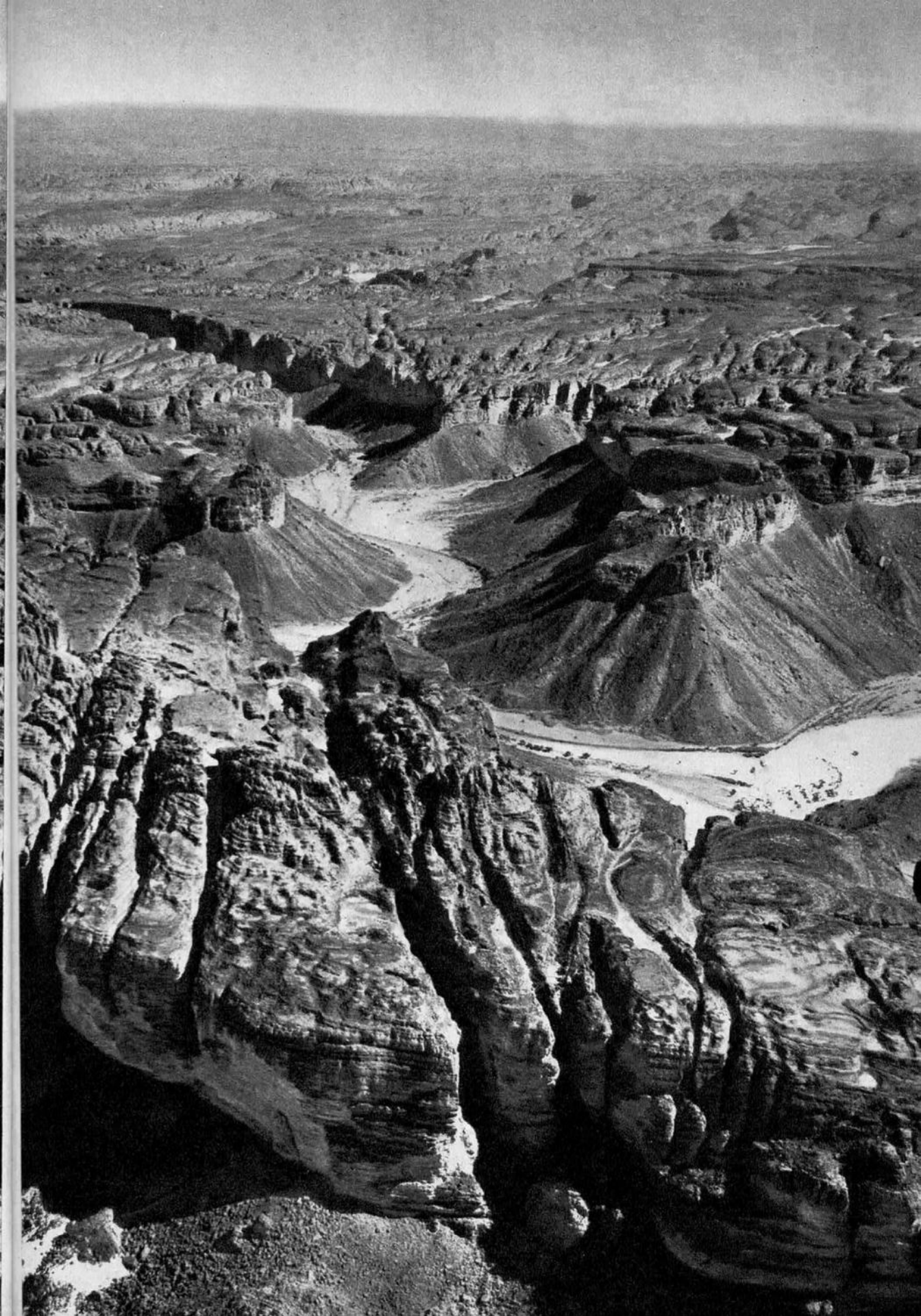
Le désert de sable

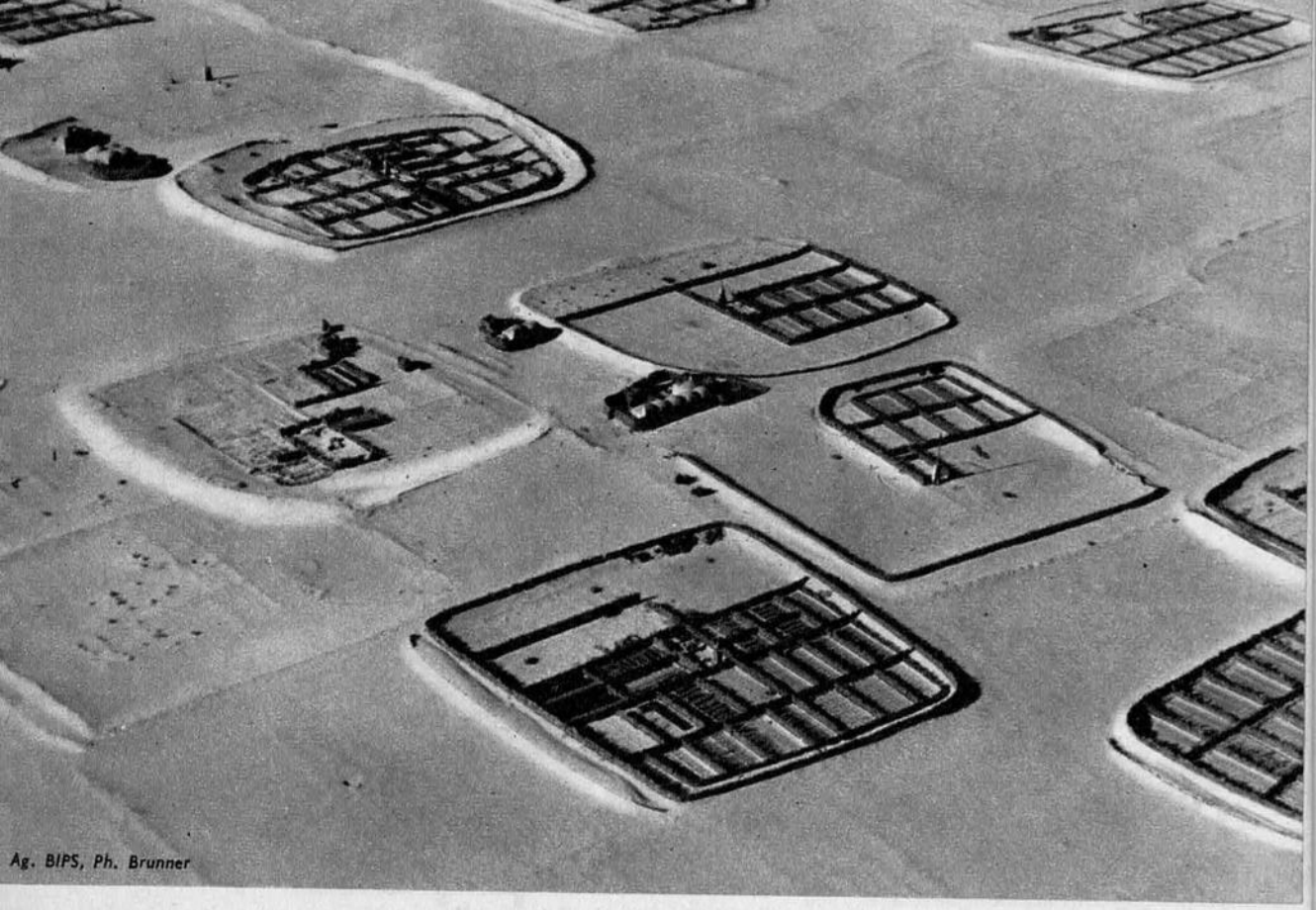
Mais les paysages les plus impressionnants du Sahara, dont on ne trouve l'équivalent dans aucun autre désert, ce sont les



Corniches abruptes des Tassili

DÉCHARNÉS comme des squelettes, les tassili sont de vastes plateaux de grès, découpés en une dentelle de vallées, témoins d'une époque où l'eau était encore abondante. La surface horizontale du tassili est tranchée en équerre par des corniches abruptes, portées par des assises de roches peu résistantes, dont les pentes plus douces sont drapées d'éboulis. Les oueds venus du Hoggar, qui s'insinuent dans la ceinture de plateaux périphériques, ne sont plus que les faibles héritiers de ceux qui ont percé autrefois de véritables trouées. Pendant de longs mois, ce ne sont que des traînées d'alluvions, jalonnées de loin en loin d'« aguelman », mares où vivent quelques poissons reliques.





Ag. BIPS, Ph. Brunner

Les oasis du Souf gravent l'empreinte

Dans le Souf, région du Sahara septentrional qui s'étend sur l'Erg oriental, d'habiles sédentaires ont établi une palmeraie selon une méthode très originale : au lieu de faire monter l'eau à la surface du sol, on a creusé des **ghout** *ou* **houd**, *vastes entonnoirs qui permettent aux racines des palmiers, plantés au fond, d'atteindre*

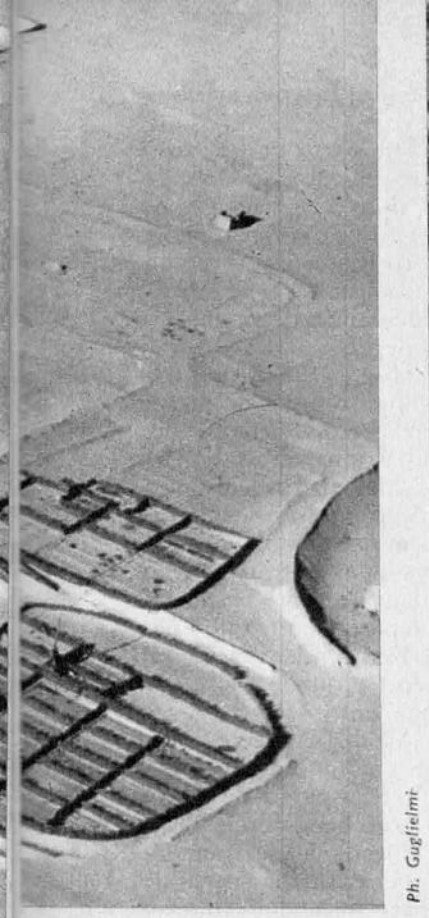
immenses massifs de dunes, les grands *ergs* qui couvrent le huitième de la superficie du Sahara. Le désert de sable est infiniment plus varié qu'on ne l'imagine d'après les photographies classiques où le voyageur à dos de chameau se détache sur l'arête fine d'une dune.

La langue arabe comme le berbère sont d'ailleurs extrêmement riches en termes pour décrire les diverses formes modelées par le vent dans le sable.

Celui-ci provient des vastes étendues gréseuses, où la roche se délite facilement, des arènes des roches cristallines, des alluvions des oueds qui sont déposées au fond de dépressions sans évacuation vers la mer. Souvent il se déplace en écheveaux ou en nappes au gré du vent. Ailleurs, un obstacle, roche ou arbuste, qui ralentit les filets d'air, provoque la chute et l'accumulation de grains de sable. Une dune de modestes dimensions, une *nebka* légèrement ondulée, entoure l'obstacle. Ces dunes isolées tracent de belles figures géométriques : elles s'élèvent en pente douce dans le sens du vent et sont tranchées vers l'avant par une pente très raide. L'intersection des deux versants forme une arête très vive et courbée comme une lame de sabre, *sif* en arabe.

De belles dunes sont, au Sahara, beaucoup moins fréquentes que dans les déserts de l'Asie Centrale. Toutefois, certaines s'égrènent en chapelets longs de 10 km en Libye orientale et en Égypte, les *draa*.

Les chaînes de dunes dessinent aussi des quadrillages, qui délimitent des creux, les *ghorrafa*, où suinte parfois une eau bienfaisante; des pyramides se dressent à la réunion de plusieurs bras dunaires, les



Ph. Guglielmi

de l'homme aux confins du désert

la nappe souterraine. Ces entonnoirs sont protégés contre l'ensablement par des murailles circulaires. A gauche, on voit des jardins cultivés d'une manière intensive et desservis chacun par un puits permettant l'arrosage. Chaque petit canal d'irrigation trace une ligne de verdure active qui signale la partie vivante du jardin.

ghourd. Des couloirs nus, les *gassi*, ou sableux, les *feidj*, séparent les principaux quartiers. Enfin, le sable s'ordonne en massifs, particulièrement sur les faibles pentes bordant les grandes cuvettes qui accidentent la topographie du Sahara.

Les massifs de dunes

Les grands massifs dunaires sont au nombre de cinq : le plus occidental s'étend entre l'erg Chech et la côte de Mauritanie méridionale; les suivants sont le Grand erg occidental, entre Adrar et Ghardaia, au nord du Tademait, et le Grand erg oriental, entre le sud tunisien et le Hoggar; ce massif est entouré lui-même de dunes; enfin, un dernier ensemble dunaire s'est fixé autour du Tibesti et se prolonge au nord-est vers le désert de Libye. Les ergs soudanais du Tibesti et du Hoggar méridional sont fixés par la végétation — ce sont les ergs *aklé*, mais les autres sont sans cesse repris par le vent et leur topographie est modifiée parfois de fond en comble après les grandes tempêtes de sable.

Rien n'arrête le vent au Sahara, car la plus grande partie du désert s'étend sur des plaines immenses, certaines plus vastes que la France entière, reliques de périodes géologiques extrêmement reculées. De Port-Étienne, sur la côte de Mauritanie, à l'oued Tamanrasset, sur plus de 2 000 km, le relief ne s'élève jamais au-dessus de 300 m. Ces plaines occupent souvent le fond de vastes cuvettes emplies de matériaux meubles que le vent déplace ou que les écoulements d'eau temporaires emportent en d'impressionnantes coulées boueuses, qui foncent en grondant, arrachent tout sur

leur passage et s'épuisent toutes seules vers l'aval. Vers les bassins fermés convergent des éventails et des couronnes de lits d'oueds, dont les bourrelets de sable et de graviers sont remarquablement visibles d'avion. Au centre des bassins, un lac stagne, qui souvent s'évapore complètement au cours de l'été. Les sels remontent alors par capillarité et le fond du bassin est imprégné d'une croûte saline qui donne l'illusion d'un miroir : c'est le *sebkha*, qui se signale du reste quelquefois par des touffes de plantes adaptées aux régions salées (halophiles). Néanmoins, toutes les cuvettes ne sont pas salées. Les eaux infiltrées peuvent échapper à l'évaporation dans les roches où un drainage souterrain s'organise. Tels sont les *maaders* où poussent de véritables prairies de plantes adaptées au désert.

Les cours d'eau temporaires

Les cours d'eau temporaires qui n'atteignent jamais la mer sont ainsi très fréquents au Sahara et certains prennent même des proportions démesurées : el Djouf, en Mauritanie, au pied de la hamada el-Haricha, traverse le désert sur 1 000 km de long et 200 km de large : un bassin qui irait de la Flandre au Roussillon! Sur ces longues distances, on ne rencontre que des obstacles mineurs : des vallées très amples complètement desséchées, ou parfois jalonnées de quelques mares, des collines en forme de bastion (les *gara*), d'aiguilles ou de statues, dont le socle disparaît parfois sous l'effet des mirages, et qui émergent du désert comme des îles sur la mer, dans le Tanezrouft oriental ou le Seguiet-el-Hamra.

Plaines de cailloux et plateaux ravinés

Ces plaines de sable ou de graviers sont l'un des paysages les plus caractéristiques du Sahara, celui dont le nom est le plus répandu, le *reg*, en pays targui, le *ténéré* en Libye, et en Égypte, le *serir:* il revient et se répète sans cesse, dans des domaines topographiques pourtant différents : au pied des montagnes de l'Atlas, sur les pentes douces formées par les alluvions des oueds (Saoura, Guir, Zousfana), sur la partie centrale parfaitement plate des bassins intérieurs occupés par des *sebkha* (Touat, Tidikelt, plaine du Kiri, entre le Tchad et le Tibesti, plaine de Qattara, en Égypte), sur les plateaux du Fezzan, du Tibesti septentrional, de l'Égypte méridionale.

Les plateaux ne sont pas toujours aussi monotones que le reg ou les *hamada* du Sahara septentrional, dont la surface repose sur une croûte calcaire unie qui recouvre les alluvions répandues par les oueds descendus de l'Atlas. La hamada est, dans le Mzab, découpée en une dentelle de ravins, la *chebka*. Les plateaux de grès, les *tassili*, qui ornent le massif du Hoggar, bien que très plans, sont coupés d'une infinité de ravins vertigineux, qui ont parfois détaché des buttes en forme de bastions, dont la base est stratifiée en marches d'escaliers, bien dégagée par le vent qui emporte les débris des roches peu résistantes. Les tassili sont limités par de hautes falaises, qui sont, à une autre échelle et dans un cadre beaucoup plus éclatant, des répliques gigantesques de la côte de l'Ile de France, dans la région du vignoble champenois, ou des côtes de Lorraine. Un escarpement rocheux de ce genre s'esquisse au Mzab, s'infléchit vers le sud-ouest sur 500 km, rejoint le Tademaït, se dirige vers l'est, disparaît, se relève à Flatters, trace un large demi-cercle et ne se termine qu'au Tibesti. L'escarpement est couronné par une corniche verticale qui dresse un rempart infranchissable au dessus de pentes drapées d'éboulis.

Des montagnes de plus de 3000 m

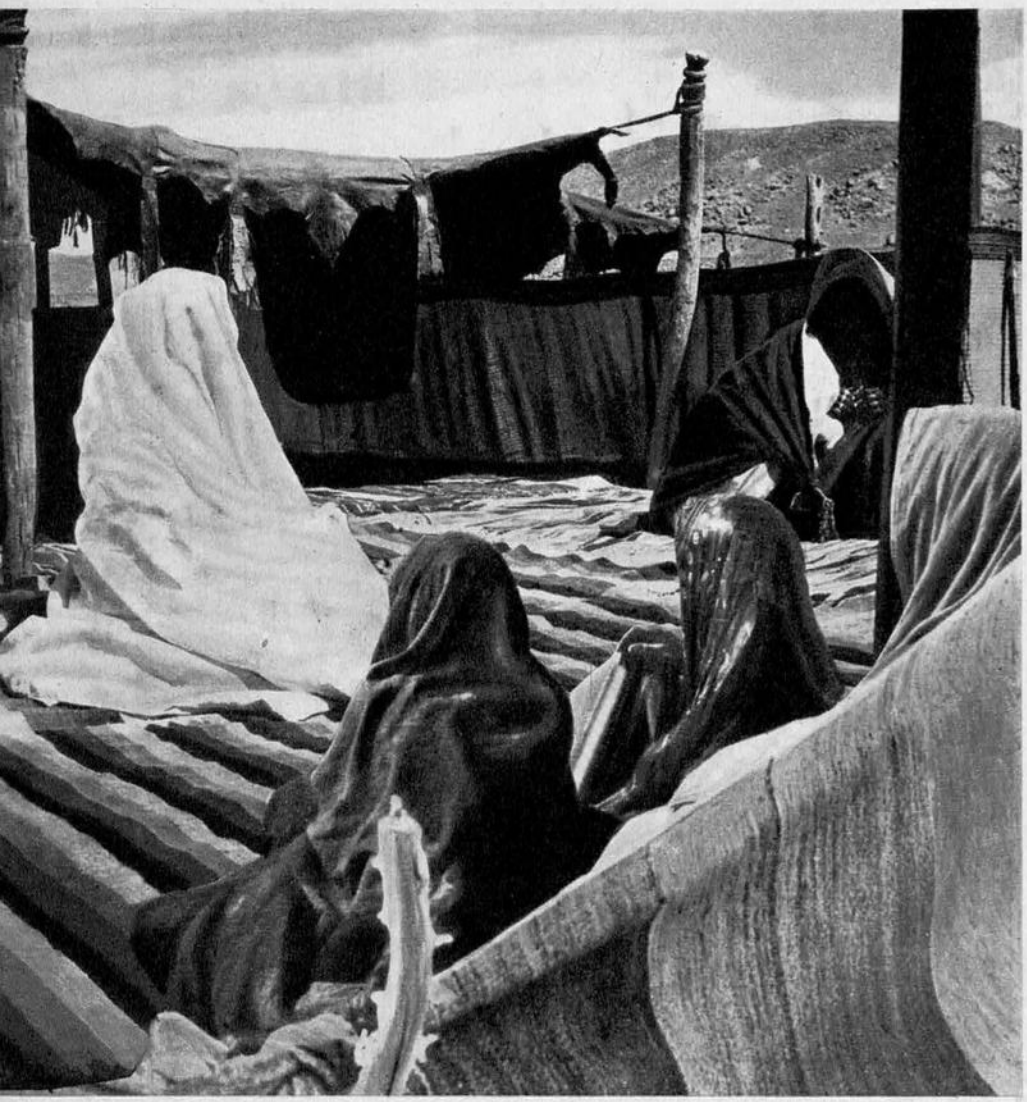
Les montagnes sont rares au Sahara, mais elles en forment le cœur. Elles sont d'ailleurs aux dimensions du désert : le Hoggar, dont les sommets culminants at-

SUITE PAGE 36

La dune sableuse menace la palmeraie

CERTAINES palmeraies proches du Grand Erg oriental sont menacées dans leur existence par la sournoise progression des sables. On connaît des oasis ensevelies au Moyen Age, dont il ne subsiste qu'une arrière-garde d'arbres souffreteux qui ne fructifient plus. Mais le mouvement des dunes ne prouve nullement une détérioration nouvelle des conditions naturelles et n'a guère modifié la physionomie du Sahara depuis la formation des grands ergs après l'apparition des premiers signes d'aridité.

Les deux genres de vie du Sahara : la tente et l'oasis



Les femmes préparent le mil devant la tente

LES Ksour, villages de paysans sédentaires du Sahara tracent des figures géométriques irrégulières à l'intérieur ou en marge des palmeraies. Ce sont des agglomérations tassées, desservies par des ruelles étroites, bordées de murs aveugles : la vie familiale se déroule strictement à l'abri des regards indiscrets. Ce cloisonnement en cellules de ruche contraste avec la légèreté de la tente du nomade, facilement démontable, ouverte au soleil, où le maître de la tribu médite accroupi sur le tapis tissé avec la laine de ses propres moutons.

Les toits à coupoles d'El Oued

Si l'eau manquait à ses pal

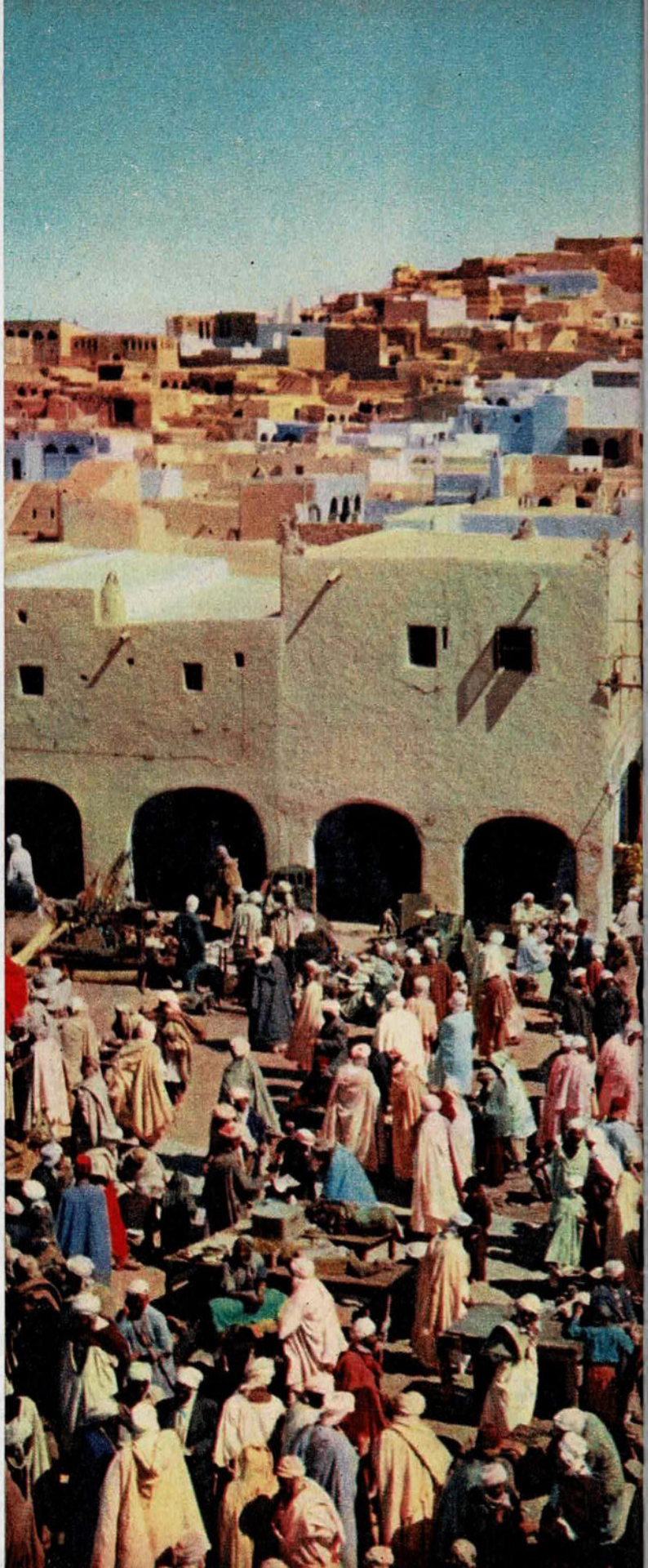
L'oasis de Kouinine, dans le Souf, aligne ses murs ponctués de coupoles au pied des dunes du Grand Erg oriental, à proximité d'une piste de l'annexe d'El Oued. Ses habitants ont planté pied par pied les palmiers que l'on voit au premier plan, à droite, et dans les dépressions des dunes à l'arrière-plan. Ces arbres, très résistants à la

miers, Kouinine disparaîtrait

chaleur, mais exigeants en eau, profitent du lent écoulement souterrain d'une nappe peu profonde, mais aussi peu abondante, où leurs racines trouvent l'humidité sans laquelle ils périraient : la vie de Kouinine est suspendue aux oscillations du niveau de l'eau, qui dépend sans doute des pluies tombées sur le Sud tunisien.

Ghardaïa, bastion du Mzab

GHARDAIA, capitale du Mzab, épouse les pentes d'une pyramide rocheuse dressée au milieu d'une vallée où l'eau ne coule en moyenne que tous les 13 ans. L'eau est parcimonieusement fournie par des puits profonds. Musulmans appartenant à une secte persécutée, les Mozabites sont réfugiés dans cette région désolée du Sahara pour conserver leur indépendance et leur religion. Hommes d'affaires très habiles, ils sont les maîtres du commerce avec les nomades dans le Sahara du Nord. L'animation qui règne sur le marché de Ghardaïa témoigne de l'activité des échanges.



Ph. Guglielmi

SUITE DE LA PAGE 31

teignent 3 000 m, est cinq fois plus étendu que le Massif Central français. Le Tibesti, plus à l'est, aux confins de la Libye et de l'A.É.F., est constitué par des chaînes plus longues que les Pyrénées.

Les lignes de faîte de ces montagnes se découpent au loin en coupoles ou en crêtes de coq dans un ciel très pur. On y trouve des sommets très isolés en pain de sucre dans le granit, mais aussi des cônes ou des aiguilles volcaniques. En effet, les vieilles roches cristallines qui donnent son assise au continent africain ont été rigoureusement cisaillées par des failles jalonnées de cratères et de nappes de lave. A 3 415 m, le sommet du Tibesti, l'Emi Koussi, est un gigantesque volcan dont le cratère est l'un des plus vastes du monde.

Le vent est ici un sculpteur raffiné; certains sommets jaillissent, épurés de toute couverture, chaque détail de la roche finement dégagé. Les cratères sont magnifiquement dessinés, entourés de remparts aigus tranchants où les matériaux en apparence les plus légers semblent en équilibre.

Parmi les sommets déchiquetés ou bossus, enserrant des plateaux, des vallées s'insinuent : la montagne a été attaquée par des torrents qui aujourd'hui n'existent plus; les vallées profondément tranchées en coups d'épée, les gorges où l'on attendrait un cours d'eau sont à sec, ensevelies sous des amas de pierrailles, que l'eau ne déplace qu'une fois par an. Dans un invraisemblable désordre de roches de toute grosseur, on découvre, au tournant d'un couloir profond, une *guelta*, petite conque d'eau isolée.

Dans ces massifs campés en plein centre du Sahara, la singularité des formes, le mystère attaché à chaque vallée pénétrant la montagne ont pu facilement donner naissance aux légendes les plus naïves et les plus curieuses, entretenues par des populations à l'imagination très vive, dont la civilisation se ressent fortement de la pression sévère du milieu naturel.

La population du Sahara

Le Sahara est la région la moins peuplée du globe, mises à part les régions polaires. La partie française du désert est peuplée de 1 700 000 habitants pour 4 300 000 km². On peut estimer à 300 000 habitants la population du désert égyptien et environ au même chiffre celle du désert de Libye. Le Sahara, dans son ensemble, sur 7 000 000 de km², ferait vivre moins de 2 500 000 habitants, soit une densité moyenne inférieure à 1. Mais cette statistique déforme la réalité; dans les oasis s'entassent jusqu'à 1 200 habitants au km², comme dans de nombreuses villes d'Europe, et au delà des fortifications de pisé de ces îlots de vie, le désert commence, souvent totalement vide, au plus peuplé de quelques tribus en déplacement, une poussière dans l'immensité du désert. L'isolement dans le Sahara est d'autant plus sensible que le peuplement est essentiellement périphérique. Les 4/5 des population vivent dans les steppes marginales du Nord. Les régions réellement peuplées de l'intérieur du Sahara sont les montagnes, le Tibesti et le Hoggar qui ont fixé 20 000 habitants, et quelques groupes d'oasis, le Fezzan (40 000 habitants), le Touat et le Tidikelt.

La vie nomade

La faiblesse des ressources assurées par le désert oblige une grande partie de ses habitants à mener un genre de vie nomade. Les troupeaux de chameaux ou de moutons sur les marges du désert épuisent rapidement la végétation très discontinue dont ils disposent, et, pour leur permettre de vivre, il faut sans cesse partir à la recherche d'un autre pâturage. De même, on ne s'éloigne pas trop des puits ou des gueltas, où les moutons reviennent boire un jour sur deux et les chameaux tous les trois ou quatre jours. Il faut enfin, à intervalles réguliers, mener les chameaux vers des pâturages d'herbes salées, pour les maintenir en bon état. Les éleveurs de bétail, au cours d'une année favorable, sèment du blé, de l'orge ou du mil et reviennent moissonner plus tard. Ils se déplacent aussi vers les oasis pour toucher les redevances que la tradition leur accorde en échange de leur protection armée. Ils achètent dans les ksour du grain et des dattes. Enfin, certains d'entre eux participent encore à de grandes caravanes commerciales à travers le désert, malgré le déclin accéléré de ce genre de transport.

Une tribu nomade patriarcale : les Regueibats

Ces peuples nomades sont des arabes, ou, si leur origine est différente, ont été profondément arabisés. Ils parlent arabe et ont adopté la grande tente rectangulaire, formée par une série de *flidj*, bandes de laine noires cousues ensemble, et divisée en deux compartiments, l'un destiné aux hommes et l'autre réservé aux femmes. La vie de tribu ne se maintient plus guère au Sahara, telle

qu'on la rencontre encore dans la péninsule arabique. Toutefois, une tribu berbère arabisée conserve encore les coutumes ancestrales. Ce sont les Regueibats du nord-ouest du Sahara. Ils groupent 50 000 personnes qui vivent presque exclusivement de leurs troupeaux, et particulièrement du lait de chamelle utilisé sous diverses formes.

Chez les Regueibats, le campement patriarcal est la cellule de base de l'organisation sociale. Un groupement plus large, le *djere*, maintient un lien entre gens de même origine, qui conservent le souvenir de l'ancêtre commun et respecté. Ce groupe était initialement un campement patriarcal qui s'est morcelé à la suite de son accroissement progressif par les naissances. Les fractions de tribus associant plusieurs de ces groupes n'ont plus qu'une notion très confuse de l'origine commune, mais sont étroitement associées par des intérêts économiques et politiques. Cette association est matérialisée dans le désert par la marque des troupeaux, qui est la même pour toute une fraction de tribu. Le chef de la grande famille, véritable patriarche, commande l'ensemble de la tribu, fédération des différentes fractions. A l'intérieur d'une vaste confédération, dont le rôle est très réduit, sauf dans des circonstances politiques exceptionnelles, les tribus sont hiérarchisées par des liens de type féodal. Un bon nombre de tribus vassales sont soumise à d'autres dont les titres historiques ou religieux sont respectés, tribus nobles ou tribus de saints personnages, les marabouts.

Les Maures

Malgré la large diffusion des coutumes et de la langue arabes, un certain nombre de peuples nomades sahariens conservent farouchement une originalité plus marquée encore que celle des Regueibats : les Maures, les plus métissés d'Arabes, les Touaregs et les Toubous.

Les 40 000 Maures, malgré leur extrême diversité d'origine, éthiopienne, berbère, arabe et noire à la fois, sont néanmoins remarquablement unis, surtout par leur foi islamique très vive. Ils ne se cantonnent pas en Mauritanie, proprement dite, mais occupent les territoires autrefois tributaires de l'empire almoravide lorsqu'au XV^e^ siècle le sultan du Maroc vainquit l'empire noir des Songhaïs : les Maures nomadisent depuis le Maroc méridional jusqu'au Tchad. Ce sont des éleveurs et des guerriers très fiers de rappeler qu'ils font partie d'un peuple de vainqueurs et non de captifs, notion d'une importance primordiale dans la hiérarchie sociale sévère du Sahara. Parmi les Maures, il existe toutefois des tribus vaincues de berbères installées sur place avant la conquête de la fin du Moyen Age; elles se considèrent aussi comme Maures, mais doivent l'impôt de sujétion aux tribus guerrières des Hassan et aux tribus à ascendance berbère qui détiennent le pouvoir religieux. Les *Haratin*, noirs soumis, qui comptent pour le tiers de la population, mènent souvent une vie sédentaire autour des points d'eau, ou sont forgerons, métier méprisé au Sahara comme dans certaines parties de l'Afrique Noire.

Les Touaregs

Les *Touaregs* (au singulier *targui*), forment le peuple le plus nombreux (900 000) et figurent parmi les peuples les plus anciennement installés au Sahara. Ce sont des berbères très blancs de peau. Les deux tiers d'entre eux, vivant à l'extrême Sud du désert, sont aujourd'hui métissés à la suite d'unions avec les noirs soudanais. Élancés, bien découplés, dotés d'une musculature très fine, les Touaregs parlent une vieille langue autochtone, le *tamacheq*, mais abandonnent peu à peu leur écriture originale, le *tifinagh*. Contrairement aux autres nomades qui vivent sous la tente de laine, le targui monte une tente en peau tannée enduite d'argile, l'*éhen*. Les esclaves sont encore nombreux; les uns sont des esclaves domestiques qui gardent les troupeaux, entretiennent les puits et l'habitation; au fond humecté d'eau des quelques vallées, les autres cultivent le mil pour les nomades.

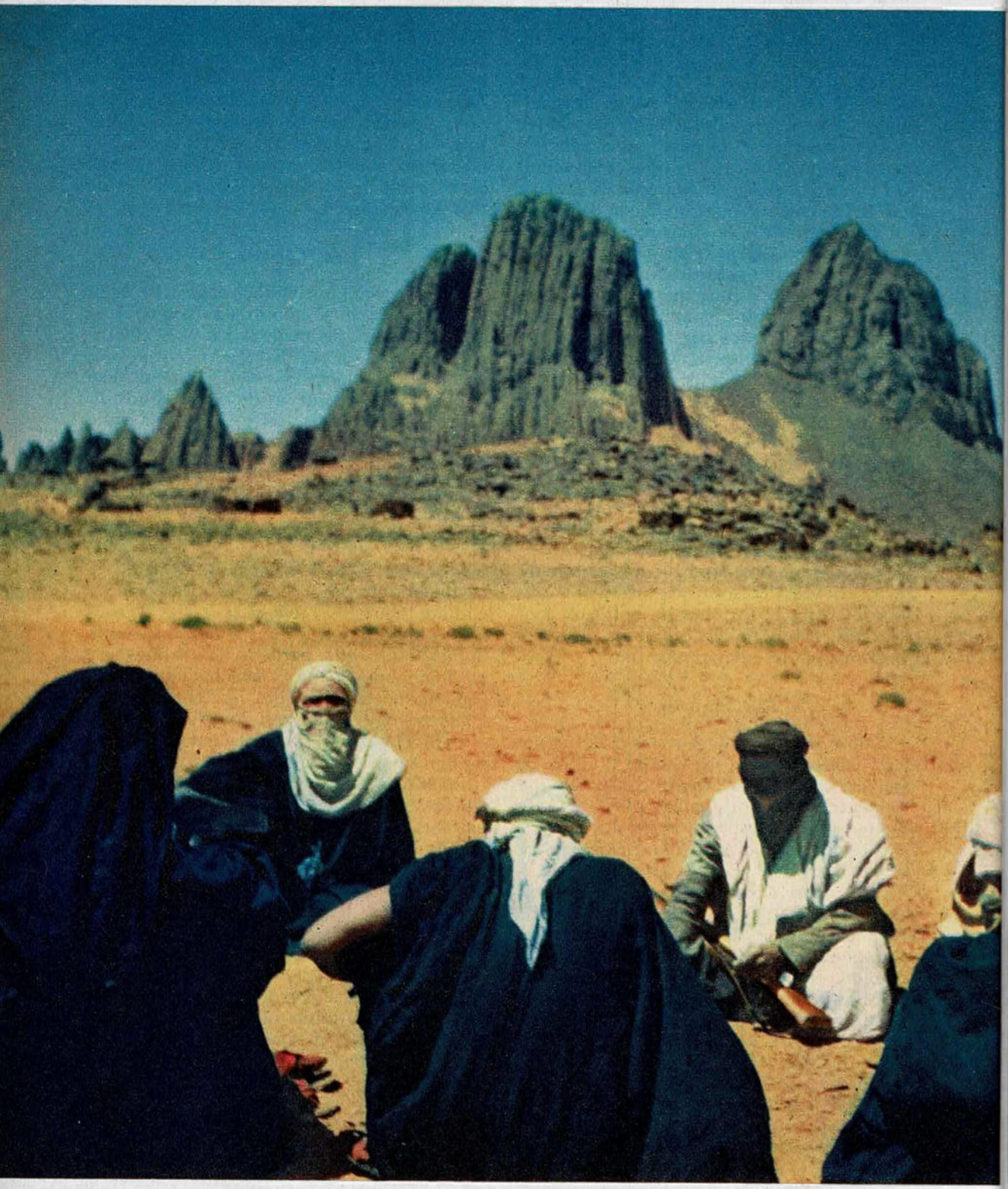
Les Touaregs se déplacent beaucoup moins que les Maures; leurs troupeaux trouvent une nourriture suffisante dans les vallées du Hoggar ou dans les steppes méridionales du désert, à la limite du Soudan.

Les Toubous

En dernier lieu, les Toubous forment un groupe peu nombreux d'autochtones sahariens irréductibles. Ils sont 100 000 environ, mais il n'en reste plus que quelque 10 000 dans le Tibesti, leur montagne refuge. Leur habitat était autrefois beaucoup plus vaste, car ils descendent vraisemblablement des anciens Garamantes, qui occupaient le Sahara dans l'Antiquité et étaient fort redoutés des Égyptiens et des Romains. Mais ils ont dû se replier devant la poussée arabe, vers les montagnes des régions les plus inaccessibles.

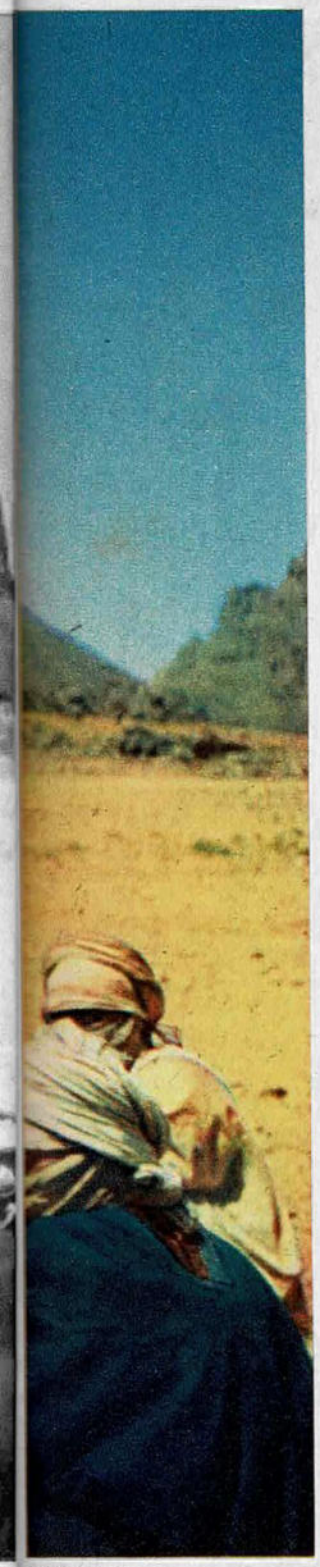
SUITE PAGE 44

Un désert de lave volcanique: le



Les caravaniers font une pose au pied de l'Atakor

Hoggar



Photos Comte

Un des maîtres du désert: le Targui

LE Hoggar occupe le cœur du Sahara. C'est un vieux massif montagneux, plus ancien que le Massif Central et vaste comme la moitié de la France. Pour l'atteindre, il faut supporter la traversée d'une longue série de plateaux gréseux très arides, les tassili, dont les bords dressent de véritables remparts au-dessus des vallées desséchées qui les découpent. Le centre du Hoggar est accidenté de reliefs volcaniques aux formes étranges, comme les aiguilles de pierres sonores ou phonolithes de l'Atakor, les murailles de châteaux forts de l'Akar-Akar, le dôme de l'Oul ou le cratère de l'Imadouzène. Les quelque 10 000 habitants que l'on y trouve vivent de leurs troupeaux, chameaux ou chèvres qui trouvent leur nourriture dans les vallées, en constant déplacement. Ces gens du désert ont un mode de vie qui ne semble pas avoir évolué sensiblement depuis des millénaires

Un groupe de Touaregs nomades à travers la steppe méridionale

Les Touaregs résistent au climat le plus inhumain

LES tempêtes de sable sont fréquentes au Sahara, particulièrement au début du printemps. Le sable obscurcit l'atmosphère, se glisse sous la tente, pénètre dans la bouche et les yeux, efface les pistes pendant un laps de temps suffisant pour dévier les caravanes de leur route. Il arrive que les chameliers terrifiés perdent la raison et s'enfuient à travers l'immensité désertique au cours de la tourmente. Les femmes des Touaregs, vêtues de voiles noirs, ont une situation très supérieure à celle de la femme arabe; très libre dans sa jeunesse, elle est consultée sur le choix de son époux. Celui-ci la prend comme seule femme et lui laisse une certaine autorité dans la gestion des affaires de la famille. Elle est autorisée à recevoir elle-même les hôtes étrangers au lieu de demeurer confinée dans une vie retirée. Des femmes Touaregs sont parfois elles-mêmes propriétaires de palmeraies et en touchent les redevances.

Photos Guy Rophé

Une tempête de sable oblige hommes et bêtes à s'abriter

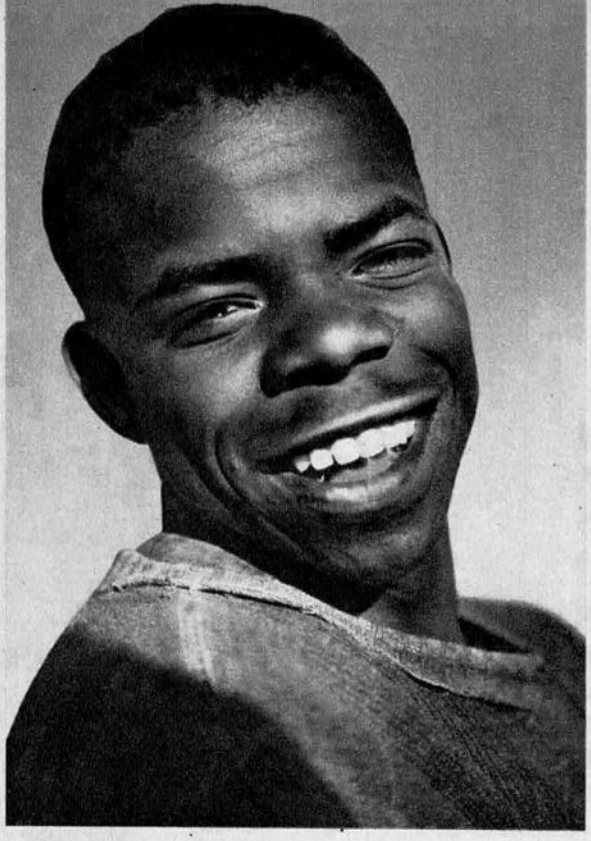
Des Haratins, descendants d'esclaves noirs

Tamanrasset : seigneurs et paysans

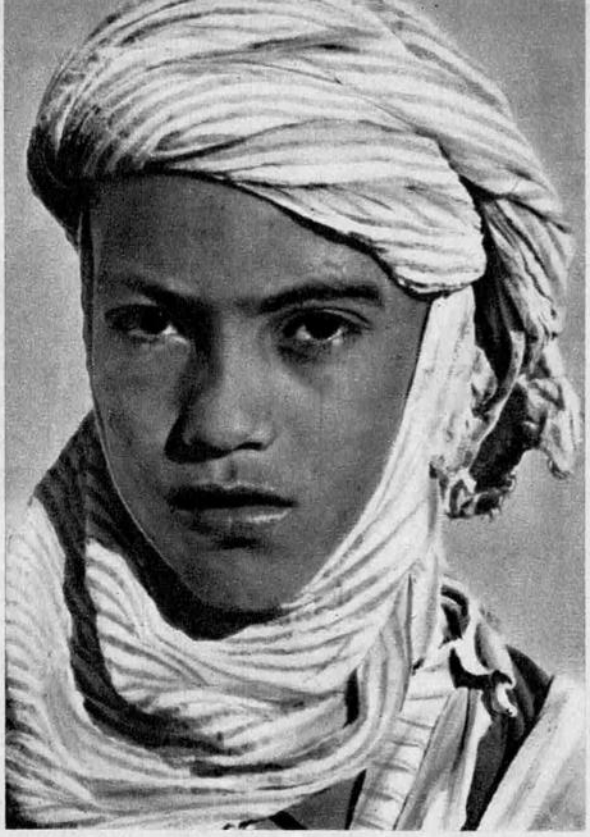
TAMANRASSET, l'ancien lieu de retraite du Père de Foucauld, est rapidement devenu le principal centre du Hoggar. Mais ce n'est pourtant qu'une minuscule bourgade à l'échelle européenne : l'annexe du Hoggar, aussi étendue que soixante départements français (350 000 km²) ne compte que 10 000 habitants. Sur ces étendues immenses, les cultures n'occupent que 460 ha. Les Touaregs (à droite) peuplent la région depuis des temps immémoriaux. Ce sont des nomades qui vivent de l'élevage du mouton et du chameau. Mais ces seigneurs du désert disposent aussi de l'aide de métayers noirs, descendants d'esclaves, les Haratins (à gauche), qui cultivent pour les nomades quelques palmeraies, des jardins et des champs de fonds d'oueds. Les Haratins ne conservent pour eux que le cinquième d'une récolte minime.

Magnum Photos

L'élevage est une des principales ressources des seigneurs du Hoggar



Ce jeune noir d'origine haoussa est l'un des nombreux Haratins du Sahara. Il travaille dans une palmeraie et cultive un jardin appartenant à un nomade targui. Il est le descendant d'un esclave acheté dans le Sud. Il n'est pas rare, surtout dans le Sud, de rencontrer des Touaregs fortement métissés de Haoussas.



Cet enfant aux traits fins est un Arabe du nord du Sahara, descendant des envahisseurs qui submergèrent les Berbères d'Afrique du Nord à partir du VII^e siècle. Les tribus arabes mirent ensuite longtemps à s'infiltrer au Sahara. Dans certaines régions, leur installation définitive date seulement du début du siècle présent.

SUITE DE LA PAGE 37

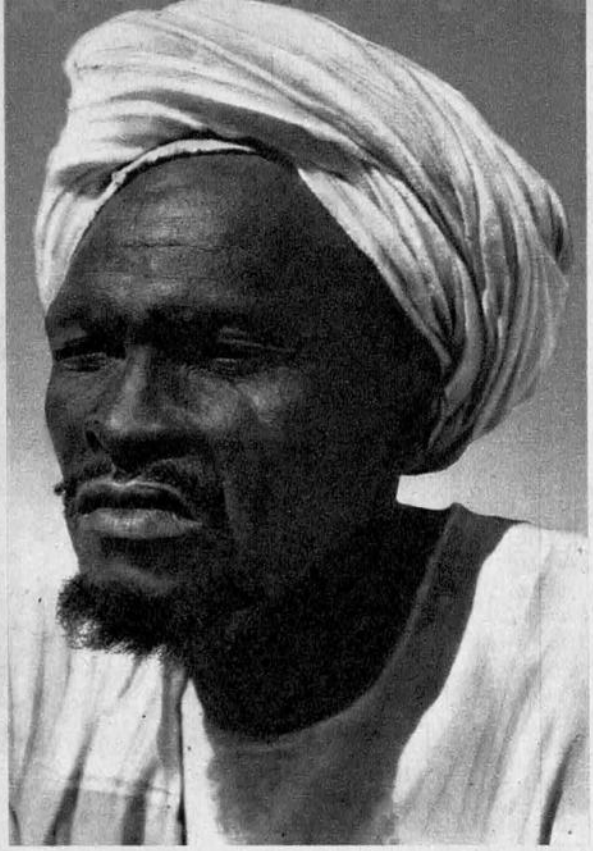
Ces hommes de couleur brun clair aux traits très fins semblables à ceux des Éthiopiens, sont renommés à travers tout le Sahara pour leur endurance, leur souplesse et leur indomptable esprit de résistance. Ils parcourent sans fatigue des distances énormes à dos de chameau ou à pied, alors que le soleil est au zénith. Éleveurs de chameaux et de chèvres dans le Tibesti, ils sont constamment en déplacement, pour surveiller les jardins qu'ils font cultiver dans les fonds de vallée par les esclaves noirs, les Kamaya, et pour percevoir, une fois par an, le tribut qu'on leur doit dans les oasis du Borkou, entre le Tchad et le Tibesti. Leur société, très fermée, s'est convertie à l'Islam au siècle dernier seulement, sous l'influence des Senoussis du désert de Libye. Mais ils conservent leur langue propre, le *teda* et leur organisation sociale, fondée sur une très grande indépendance de la famille patriarcale.

La captation des eaux souterraines

La plus grande partie des ressources alimentaires du Sahara est assurée par les eaux souterraines, eaux juvéniles d'origine géologique, eaux fossiles héritées d'une période plus humide, eaux d'infiltration provenant de la périphérie du désert, des massifs montagneux qui le bordent et entre autres de l'Atlas. Ces eaux sont captées par des procédés très ingénieux. Les puits à bascule ou à « délou », les puits artésiens sont classiques et connus des habitants de tous les déserts, mais les « *foggaras* » sahariennes témoignent d'une technique originale déjà très perfectionnée.

Les foggaras sont des galeries souterraines qui captent l'eau de sous-écoulement dans les alluvions des oueds, et la canalisent parfois sur plusieurs dizaines de kilomètres. Elles sont jalonnées par des puits qui per-

Photos Bourdelon et Petit - Missions Hoggar - Tibesti



Ce forgeron toubou appartient à un groupe humain qui constitue encore une énigme pour les savants. Il est toutefois vraisemblable que ces hommes au nez aquilin, au menton court et au teint bronzé sont un rameau des peuples éthiopiens qui occupaient autrefois une très grande partie des régions arides de l'Afrique.

mettent de s'introduire dans la galerie pour l'entretenir.

La chaleur du désert devient extrêmement propice à la végétation et aux cultures lorsque l'approvisionnement en eau, régulier et abondant, est assuré. Ainsi naissent les oasis, représentation terrestre du paradis pour les nomades : l'eau bruisse doucement le long des canaux d'irrigation, au milieu des jardins, sous les couverts des palmiers-dattiers. Par des techniques très simples, mais au prix d'un labeur acharné, les habitants des oasis utilisent de manière très intensive les minuscules espaces disponibles. Ils réussissent ainsi à cultiver tout ce qui est indispensable à leur existence.

Palmeraies et cultures diverses

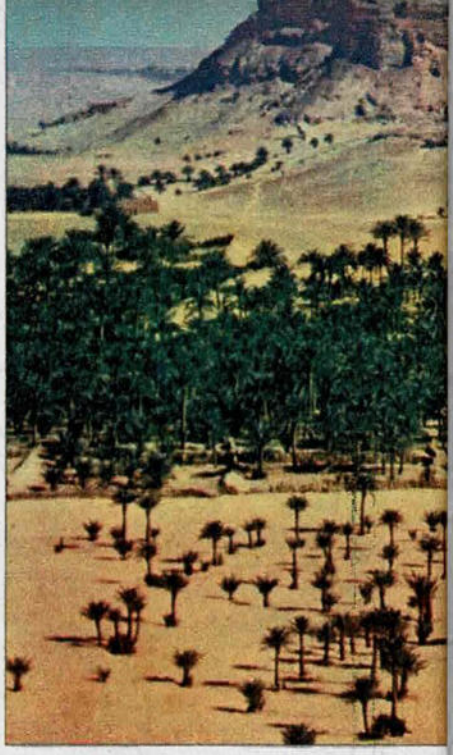
L'essentiel des besoins alimentaires est assuré par les 15 millions de palmiers-dattiers cultivés dans l'ensemble des oasis

SUITE PAGE 49

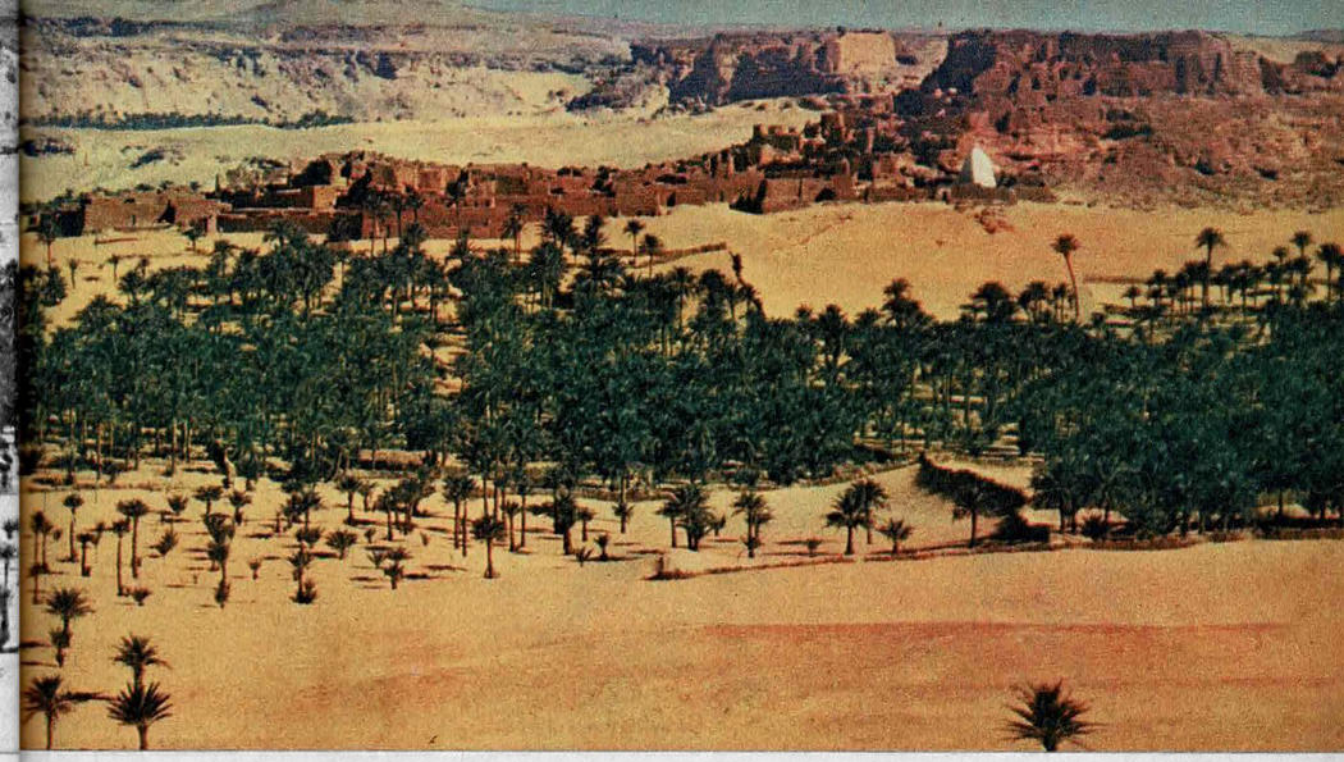
Les femmes toubous aiment les parures, auxquelles elles accordent souvent une valeur symbolique. Colliers et bracelets, selon leur forme ou leur nature, assurent la fécondité ou préservent des maladies. Ces pendentifs en forme de croix à volutes sont l'œuvre de forgerons-bijoutiers qui les gravent au burin.

Timimoun, oasis rouge, étape pittoresque sur la piste d'Alger à Gao

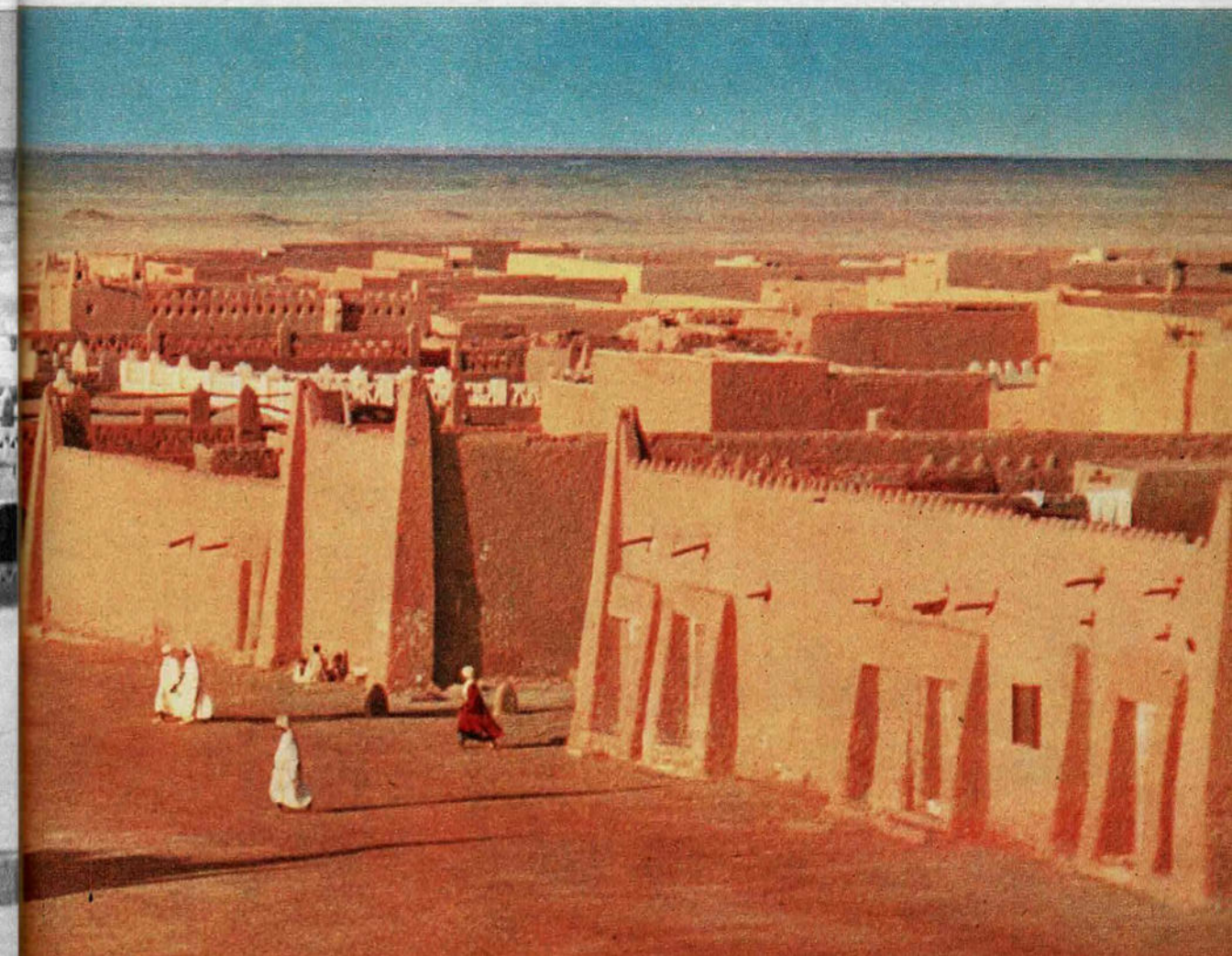
TIMIMOUM est un maillon de la longue chaîne de palmeraies qui s'enfonce dans le Sahara de Figuig à In Salah. C'est la plus belle oasis du Gourara, secteur le plus riche en eau et le plus peuplé de cette rue de palmiers. Les sources jalonnent le contact entre les terrains primaires et le crétacé. L'eau est captée par des galeries creusées sous terre, les foggaras, et est répartie suivant un système compliqué et équitable entre les propriétaires qui cultivent aussi l'orge, le blé et les légumes. Timimoun et le désert qui l'entoure sont des plus pittoresques avec des contrastes de couleurs remarquables. Les constructions réalisées par l'Administration sont dans le style soudanais.



La rue principale de la capitale du Gourara

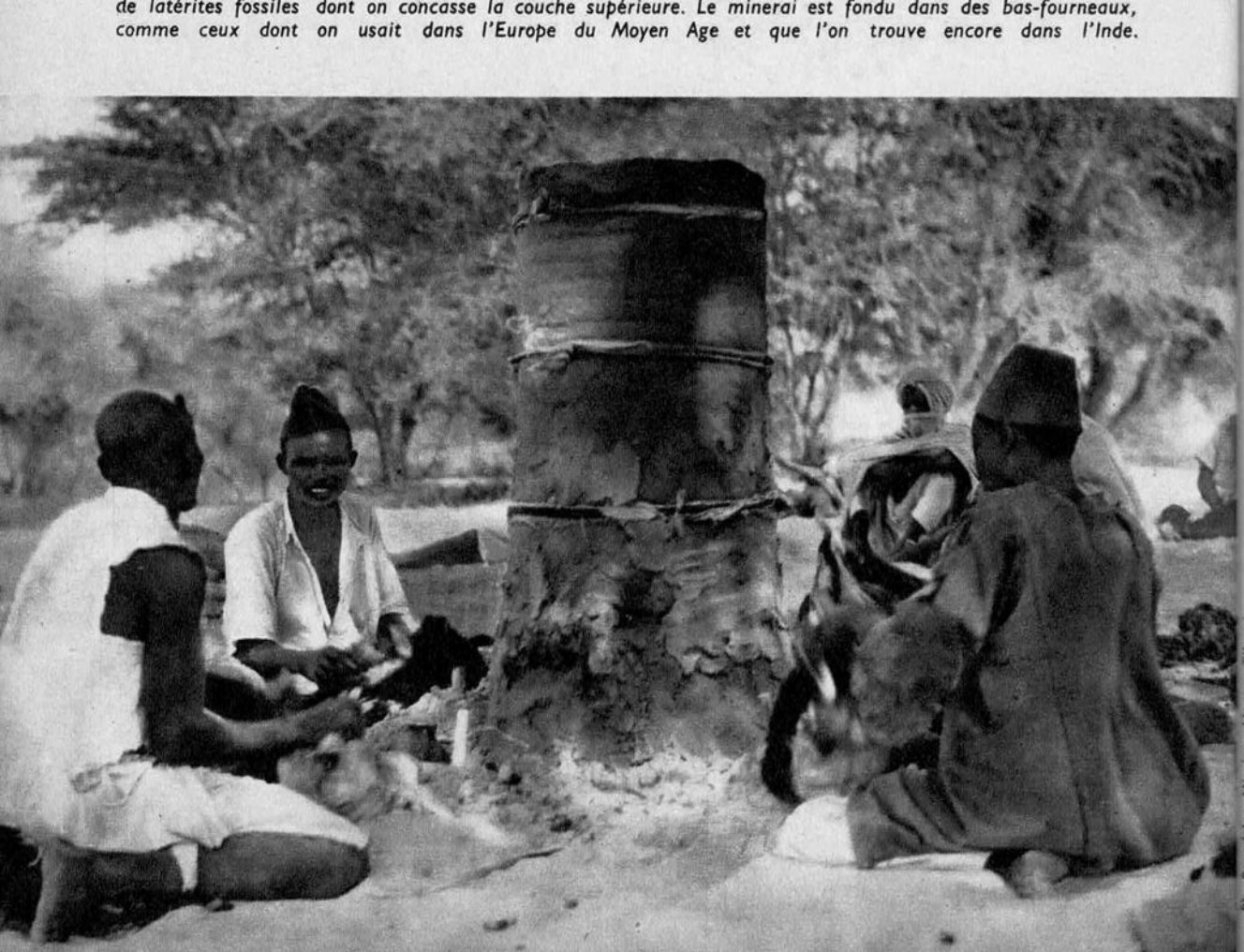


Une palmeraie proche de Timimoun



La métallurgie au Sahara oriental

La recherche du minerai de fer et la fabrication du métal sont réservées au Sahara à des forgerons qui sont relégués au bas de l'échelle sociale et pratiquent leur métier de père en fils. Le fer provient de latérites fossiles dont on concasse la couche supérieure. Le minerai est fondu dans des bas-fourneaux, comme ceux dont on usait dans l'Europe du Moyen Age et que l'on trouve encore dans l'Inde.



Ph. Bourdelon Missions Hoggar-Tibesti

du Sahara. La première récolte des dattes est l'occasion de festins gargantuesques. Une partie de la récolte des dattes sèches est conservée sous forme de farine, et les dattes molles sont comprimées dans les couffins en peau de bouc où elles se transforment en une pâte fort appréciée des nomades. Entre les palmiers, ou en anneau autour de l'oasis, les fellahs sèment le grain en octobre ou novembre, blé et orge surtout au nord du désert, mil et maïs sur les marges soudaniennes du Sahara. Le gros mil (sorgho) est avantageux parce qu'il pousse vite : il peut être mûr en six semaines. Le maïs est apprécié pour sa rusticité : on le sème et on ne s'en occupe plus jusqu'à la récolte, qui a lieu entre mars et juillet selon les lieux. Le rendement, faible par rapport à ce que l'on obtient dans les bonnes exploitations européennes, est satisfaisant pour l'Afrique : il est, entre autres, très supérieur à celui des exploitations indigènes du Tell algérien. La terre produit parfois deux récoltes par an, mais souvent il faut choisir entre la céréale d'été ou la céréale d'hiver, ou laisser la moitié ou les deux tiers du sol en jachère. En plus des céréales, des arbres fruitiers, figuiers, abricotiers, grenadiers, occupent le sol sous les palmiers.

Au pied de tous ces arbres poussent des fèves, des pois, des lentilles, un mélange très varié de légumes, parmi lesquels les pastèques, les melons, les courges, les aubergines rampent à fleur de sol. Les seules cultures qui ne sont pas destinées à l'alimentation sont le cotonnier, le tabac et le henné, dont toutes les femmes du désert se servent pour leurs soins de beauté.

Ces cultures multiples occupent une population très dense, qui vit entassée dans des villages fortifiés, les ksour, où les habitations de boue séchée, serrées derrière les murailles de l'agglomération, ne sont guère desservies que par des ruelles étroites et sombres.

Les principales oasis

Les principales oasis se localisent au nord du Sahara, où les nappes souterraines sont plus abondantes et moins profondes :

— au sud du Maroc, des oasis jalonnent la vallée du Draa jusqu'à son coude vers l'ouest, et les oueds du Tafilelt. Elles sont mal entretenues et en partie ruinées par suite des dissensions entre Berbères et Arabes;

— de Figuig à In Salah, une véritable *rue de palmiers* suit le cours de la Saoura et rejoint les oasis du Gourara, du Touat et du Tidikelt;

— beaucoup plus à l'Est, les oasis du Mzab sont l'œuvre d'une secte musulmane qui s'est installée en pleine hamada pour vivre en sécurité dans l'isolement. Les Mozabites ont dû creuser plus de 3 000 puits de 30 à 70 m de profondeur pour obtenir l'eau, dont le débit est pourtant à peine suffisant pour assurer l'irrigation des jardins;

— aux confins du Sud tunisien, dans la cuvette du Grand Erg oriental, on a creusé de nombreux puits qui alimentent les oasis de l'oued Rhir, du Nefzaoua, et, dans le Souf, des entonnoirs où les racines des palmiers, cultivés au fond, plongent dans la nappe aquifère et pompent l'eau directement;

— en Tripolitaine et en Cyrénaïque, où la nappe phréatique est à faible profondeur à proximité de la mer.

Les principales oasis de l'intérieur sont celles du Fezzan : de loin en loin, sur 700 km, des sources et des puits jalonnent des dépressions au pied des escarpements limitant les plateaux nus des hamada.

Le relèvement indispensable du niveau de vie

Les oasis, malgré leur aspect riant, né du contraste avec le désert, sont souvent très pauvres. Le relèvement du niveau de vie des populations autochtones apparaît comme l'un des problèmes les plus urgents posés par le Sahara, car la ration alimentaire des habitants est souvent extrêmement insuffisante : à Djanet, selon R. Capot-Rey, les sédentaires peuvent consommer 600 g de dattes par jour et 230 g de grain ou de pois chiches.

C'est pourtant une situation relativement satisfaisante pour le Sahara : un nomade du Hoggar ne dispose en moyenne que de 145 kg de grain par an et d'un revenu de 1 200 f. Or la situation s'aggrave d'année en année par suite de l'augmentation régulière de la population du Sahara depuis que la pénétration française a apporté la sécurité, et surtout une surveillance médicale et un soutien en cas de famine. La population des départements des Oasis et de la Saoura qui s'élevait à 430 000 habitants en 1906, atteignait 820 000 habitants en 1954. Les effets heureux de la présence française ont déclenché une évolution qui, selon un cours classique, porte en elle-même de nouvelles difficultés.

Georges GRELOU

Ph. Bourdelon Missions Hoggar-Tibesti

LE PROBLÈME DE L'EAU conditionne l'essor saharien

JUSQU'A ces dernières années la recherche des ressources aquifères au Sahara n'avait eu qu'un double but: pourvoir à l'alimentation des hommes et des animaux et irriguer les cultures. Actuellement elle doit en envisager un troisième qui risque de devenir prépondérant : l'alimentation des centres industriels et des chantiers miniers ou pétroliers. Ce nouveau problème est assez différent du précédent. Autrefois, en effet, le géologue et l'ingénieur se bornaient à rechercher l'endroit le plus favorable à la venue de l'eau : lorsque celle-ci jaillissait, les cultures et les centres de vie s'installaient tout autour. C'est ainsi que sont nées les grandes palmeraies de l'Oued Rhir et, plus récemment, en plein désert, l'oasis de Zelfana. Maintenant il en est tout autrement. La localisation du pétrole ou de la mine impose le lieu où l'eau doit être consommée et limite à une étroite zone géographique l'aire des recherches de l'hydrogéologue. En d'autres termes, si l'agriculture peut, dans une certaine mesure, suivre l'eau, c'est cette dernière qui devra suivre le sondage ou la mine.

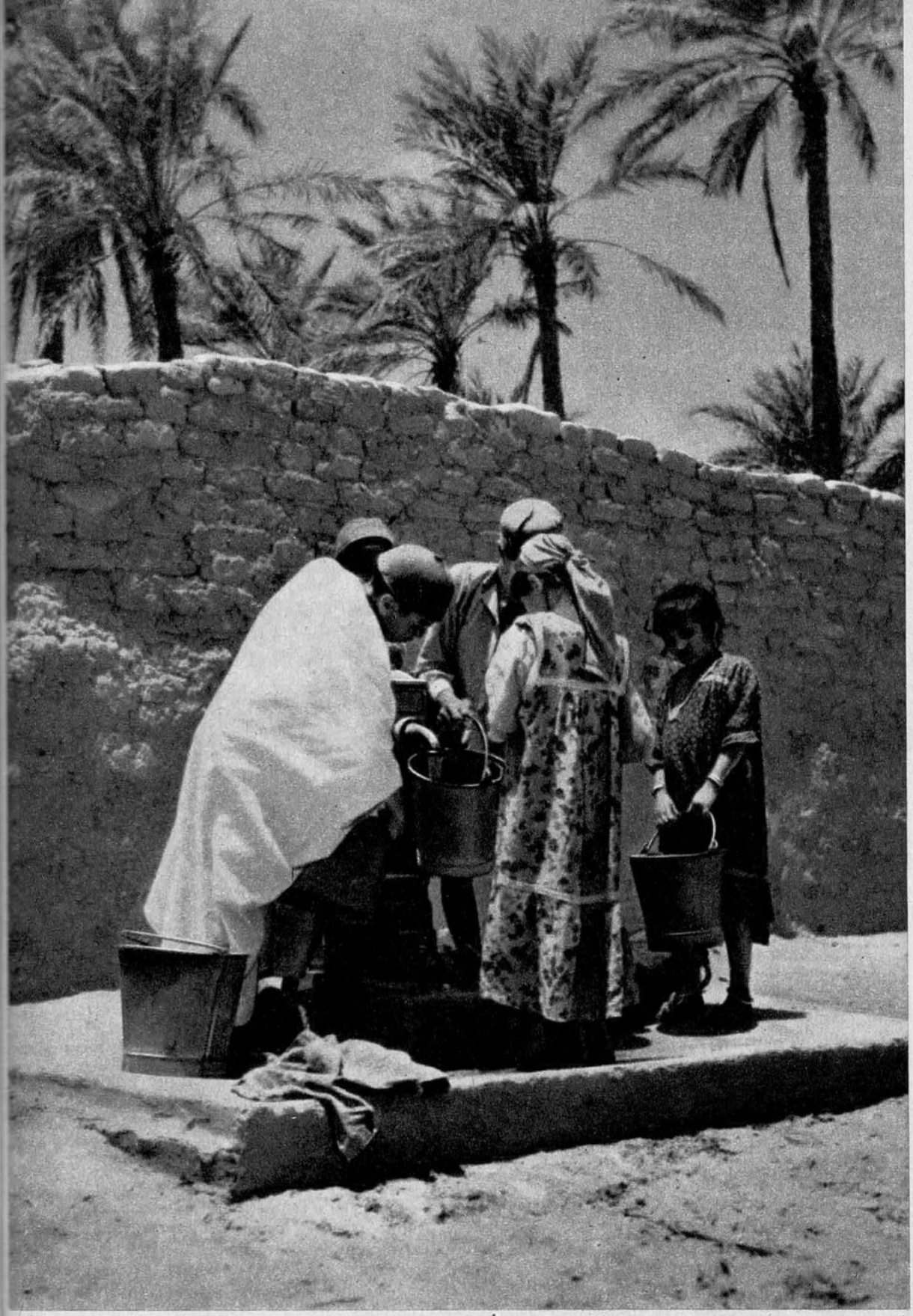
Alimentation humaine

Rappelons tout d'abord qu'en Europe les besoins d'une petite ville sont estimés à 100 l d'eau par habitant et par jour, et ceux d'un grand centre urbain à 150 ou 200 l. On admettra que, dans le pays chaud et sec qu'est le Sahara, ces valeurs puissent être largement dépassées.

Pour un méhariste, 20 à 30 l d'eau, contenus dans sa guerba, constituent une provision suffisante pour lui permettre de subsister pendant plusieurs jours. Il n'y a pas si longtemps, les Européens des petits postes sahariens n'étaient pas beaucoup plus gourmands. Les conditions ont bien changé. Avec les nouveaux sédentaires européens, les besoins deviennent plus considérables, surtout lorsqu'apparaît le robinet à eau courante et, à sa suite, la salle de bain et la chasse d'eau. Leurs exigences et leur nombre croissant d'année en année entraînent une consommation de plus en plus importante. Il ne faut cependant pas oublier que les ressources aquifères locales sont déjà atteintes en bien des points. Nous en avons un bon exemple au Hoggar, à Tamanrasset. Jadis, le général Laperrine y avait trouvé 42 habitants sédentaires vivant misérablement. Vers 1918, les habitants étaient passés à 150. En 1938, ils atteignaient 680; en 1957, 2 000 environ. Actuellement, la population européenne s'accroît constamment par suite de l'installation d'activités nouvelles, organes divers de recherches minières, infrastructure aéronautique, etc. Or les alluvions de l'oued, seules ressources possibles, n'ont pas varié. Elles donnent toujours 21,5 l/s. Force est donc de reconnaître que Tamanrasset a largement atteint, sinon dépassé, l'importance que lui permettent ses possibilités naturelles.

Besoins agricoles

Le chiffre théorique de 5 000 m³ d'eau à l'hectare et par récolte est largement dépassé au Sahara, l'évaporation y étant considérable et le lessivage des sols salés une nécessité. Les pertes de toutes sortes amènent ainsi, pour le palmier dattier, à des consom-



Ph. Guglielmi

Une borne-fontaine à Khanga-Sidi-Nagi

mations de 26 000 m³ par an et par hectare dans l'Oued Rhir, ce qui représente un débit de 0,75 l/s pour 120 palmiers. Et nous sommes là dans une région du Sahara du Nord où l'aridité est moindre que dans les plaines centrales. Les pasteurs sont moins exigeants, mais une utilisation plus rationnelle des pâturages à moutons demanderait un réseau de puits espacés d'une quinzaine de kilomètres au maximum, si l'on ne veut pas exiger des ovidés, pour s'abreuver, un parcours abusif. Et encore faut-il que ces puits ne dépassent pas une profondeur de 60 à 70 m et que leurs débits atteignent 40 à 50 m³ par jour pour qu'ils soient normalement utilisables.

Besoins industriels

Les chantiers de forage consomment des quantités d'eau assez importantes. Bien qu'il soit difficile de donner un chiffre moyen tant ceux-ci sont variables suivant les terrains rencontrés, on peut avancer celui de 50 à 60 m³ par jour. Cette eau doit être amenée parfois de fort loin. C'est ainsi que lors du forage de Bidon V, en 1942, qui était destiné à rechercher une nappe aquifère, on dut amener l'eau par camions citernes de Tessalit, à 275 km plus au Sud. Il est évident que l'acheminement journalier de plusieurs dizaines de tonnes d'eau sur des distances considérables et des pistes rudimentaires grève lourdement le prix de revient des sondages.

Actuellement, l'exécution d'un important réseau routier exige, pour le compactage des matériaux, des ressources capables de fournir de 10 à 20 m³ d'eau à l'heure, échelonnées tous les 50 km. De tels débits sont considérables au Sahara et posent de sérieux problèmes.

Les besoins industriels demandent des chiffres encore plus élevés. C'est ainsi que pour le « Combinat de Colomb-Béchar », on avait avancé jadis le chiffre de 30 000 m³ par jour, ramené à 20 000 puis à 15 000, alors que les possibilités aquifères ne paraissent pas dépasser 10 000 m³ par jour, si l'on ne fait pas un emprunt au barrage en projet sur l'Oued Guir.

Le Sahara possède-t-il des ressources en eau suffisantes pour faire face à cette énorme demande ?

Les pluies au Sahara

A moins de croire au miracle, il faut bien admettre que toutes les eaux utilisables au Sahara proviennent en définitive des précipitations tombées sur celui-ci et sur les régions limitrophes. Elles représentent la faible partie des pluies qui a pu soit humidifier suffisamment le sol pour donner naissance à un développement local de la végétation, soit ruisseler à sa surface et se concentrer dans les maaders ou les sebkra, soit enfin alimenter les nappes profondes du sous-sol. Réduire les pertes naturelles, éviter le gaspillage par les usagers, et essayer d'augmenter le volume des précipitations par des méthodes de pluie provoquée, si la chose se révèle possible, telles sont les tâches primordiales auxquelles on doit s'attaquer si l'on veut promouvoir un développement économique du Sahara qui ne soit pas un leurre.

Les pluies sont évidemment rares au Sahara, même dans la partie la moins désertique que constitue le territoire français, sinon ce ne serait pas un désert. Il ne faudrait toutefois pas tomber dans l'excès contraire et penser qu'elles sont toujours exceptionnelles. S'il en était ainsi il n'y

CRUE REMARQUABLE DE L'OUED SAOURA

Cette photographie prise le 6 octobre 1950 par Guinet fournit un exemple frappant de ce que peut être la crue exceptionnelle d'un oued en plein Sahara. Il s'agit ici de l'Oued Saoura, en aval de Foum el Krenig, et on remarquera la violence du courant. On se trouve ici pourtant dans la partie terminale du cours de l'oued, soit à plus de 700 kilomètres de sa source. Un tel écoulement est excessivement rare et ne se produit en moyenne avec cette intensité qu'une fois tous les dix à douze ans.

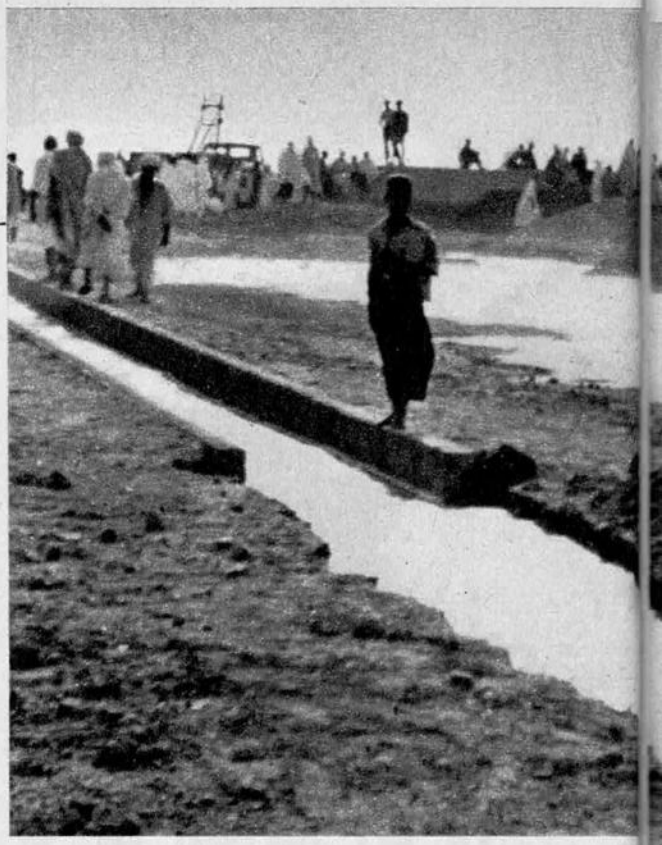
aurait pas de nomadisme possible; or celui-ci existe et s'étend certaines années à l'ensemble de notre Sahara. Les moyennes établies sur 25 à 30 ans montrent qu'il tombe annuellement de 50 à 100 mm d'eau sur les régions périphériques et les hauts sommets des montagnes centrales, et un peu moins de 20 mm dans les plaines du cœur du Sahara. Ce sont là des quantités bien faibles puisqu'elles représentent respectivement le quarantième et le centième des possibilités d'évaporation de l'atmosphère saharienne.

Mais une moyenne de pluie nous renseigne incomplètement sur la pluviosité d'une région, surtout en zone aride, et il importe tout autant de connaître les fréquences des précipitations individuelles, de leurs intensités, de leurs durées, de leurs étendues et de leurs répétitions. Sans entrer dans un détail qui nous entraînerait trop loin, nous dirons que les pluies sahariennes sont de faible importance quantitative; les précipitations torrentielles sont rares, les « déluges » exceptionnels. Leur vitesse de chute est généralement assez notable, mais leur durée est très courte, de une à trois heures en moyenne. Leur étendue par contre est beaucoup plus importante qu'on le pensait jadis et leurs répétitions peu fréquentes. De plus, et c'est là une chose importante à ne pas perdre de vue, les « années pluvieuses », au sens saharien du terme, sont généralement groupées; il y a des séries d'années de pluie séparées par des séries d'années de sécheresse.

Quelles sont les plus longues périodes de sécheresse que l'on peut rencontrer au Sahara ? Ici il faut bien s'entendre : si l'on se place au point de vue purement météorologique, celles-ci ne dépassent pas 4 ans au maximum et sont en général de deux années. Pour le pasteur, par exemple, le point de vue est tout autre : pour lui il y aura sécheresse lorsqu'il ne tombera pas de pluie donnant un effet utile, en l'occurrence un renouveau de la végétation. Si nous décidons, un peu arbitrairement, que les

LE PUITS ARTÉSIEN DE SIDI KHALED

C'est le plus profond puits artésien du monde, qui exploite l'eau vers 2 150 m de profondeur. Sur cette photographie, il coule seulement depuis quelques heures avec une abondance telle que le canal d'évacuation déborde. La foule fête le « miracle de l'eau ».



pluies utiles doivent être supérieures à 5 mm en 24 heures, les périodes de sécheresse maximum dépassent toujours 1 an et peuvent atteindre 6 à 7 ans dans les plaines du Sahara central. On comprend dans ces conditions que la population nomade se rencontre principalement dans les régions périphériques et en montagne et que seuls de « grands nomades », comme les Reguibats, soient capables d'utiliser les ressources végétales des régions les plus arides. Il découle aussi de ces constatations que la vie nomade n'est possible que si elle peut disposer d'une très grande liberté d'action. Toute limitation due à une frontière territoriale ou administrative peut contraindre le pasteur saharien à la misère et peut-être à sa perte.

Rôle du ruissellement au Sahara

Comment des précipitations aussi faibles, aussi espacées et ayant des durées aussi courtes, peuvent-elles avoir une action bénéfique sur la végétation saharienne, amener des écoulements d'oueds et, finalement, alimenter des nappes aquifères sahariennes ? C'est là qu'apparaît le rôle essentiel du ruissellement. Sans lui, aucune vie ne serait possible au Sahara, sans lui, ce dernier aurait été au cours de siècles un *no man's land*, une barrière absolue entre la Méditerranée et le Soudan. Les précipitations, en effet, même dans les cas les plus favorables où elles peuvent directement s'infiltrer dans le sol sans trop de pertes, ne pourront humidifier qu'une épaisseur très restreinte de celui-ci et ne donneront naissance qu'à une végétation très éphémère, « l'acheb » des nomades, grâce d'ailleurs à l'extraordinaire résistance des graines sahariennes. Par contre, dès qu'un ruissellement apparaîtra, si petit soit-il, il y aura concentration sur des surfaces restreintes d'une fraction notable des pluies. Un « pâturage saharien » typique apparaîtra alors.

Mais une question se pose. A partir de quelle hauteur de pluie y a-t-il apparition d'un ruissellement ? Il est assez difficile de donner une réponse ayant une portée générale, ce phénomène dépendant non seulement de la hauteur d'eau, mais aussi de la vitesse de chute de la pluie et, naturellement, de la nature de la surface de réception. On peut cependant admettre qu'il se produit, en général, dès que la chute de pluie dépasse 5 à 8 mm.

L'écoulement des oueds

Ce phénomène du ruissellement peut encore être assez grand dans les zones montagneuses du Sahara pour amener des écoulements d'oueds étonnants. Au Sahara, une crue peut se propager *exceptionnellement* sur plus de 800 km (cas de la Saoura), trois peuvent atteindre ou dépasser les 500 km, six les 400 km, treize les 300 km, trente-trois les 200 km. Un pareil tableau est surprenant en un pays réputé comme l'un des plus désertiques du monde ! Près de la moitié des crues exceptionnelles s'étendant sur 200 km sont originaires du Massif Central Saharien et presque toutes les autres des versants méridionaux du Grand Atlas marocain, de l'Atlas saharien, de

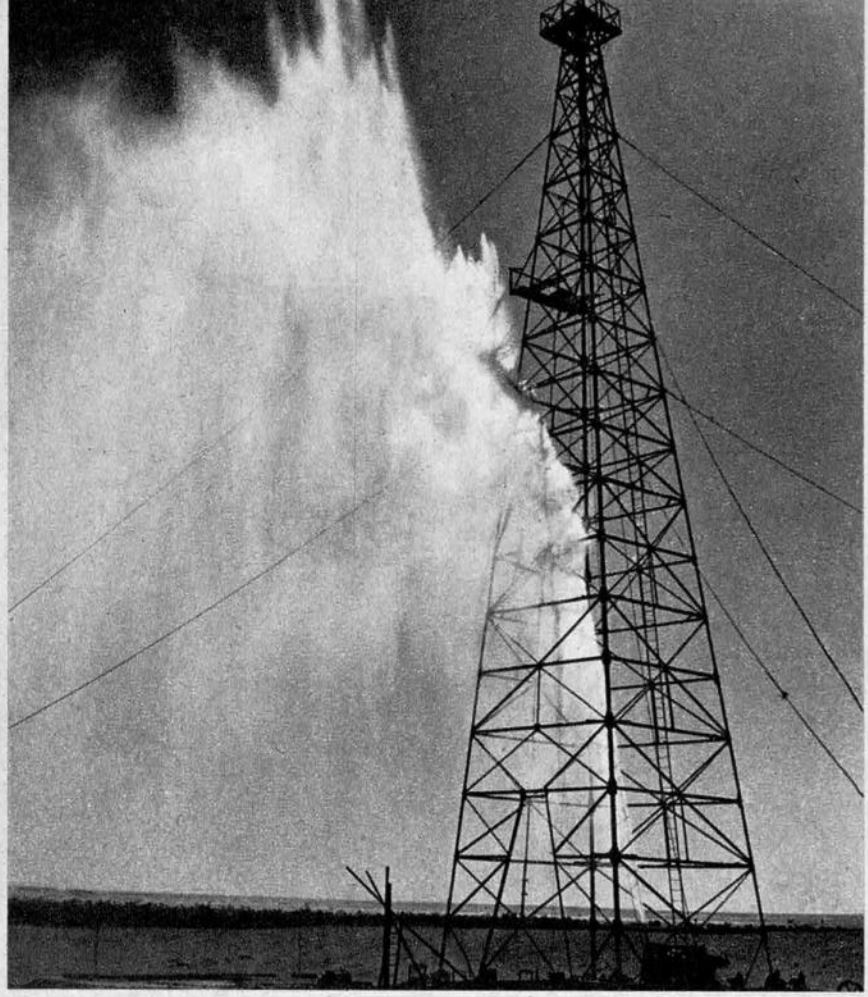
Ph. A. Cornet

l'Aurès et de leurs piedmonts. Les fréquences des crues varient évidemment avec leur distance à l'origine. Leur nombre doit dépasser la centaine en un siècle, dans tous les oueds descendants de la bordure montagneuse du Sahara septentrional et au Mzab. Par contre, les crues sont beaucoup plus rares dans le Massif Central Saharien où elles ne dépassent la centaine que dans l'oued Tamanrasset, à hauteur du centre du même nom. Bien entendu, dans ces chiffres, il est tenu compte de tous les écoulements observés, qu'ils se soient produits à des intervalles de quelques jours ou de plusieurs années.

De l'utilité des crues

Ces eaux de crue sont-elles utilisables ou coulent-elles en pure perte ? Telle est la question que l'on peut se poser. Les réponses sont extrêmement divergentes. En réalité, il est très difficile de donner un avis valable dans tous les cas. Il est bien évident que les eaux atteignant des sebkras ou des chotts n'ont plus aucune valeur utilitaire et leur action sur l'humidification de l'air est très faible ou nulle. Par contre, celles se concentrant dans les vastes zones alluvionnaires que sont les maaders sont bénéfiques, surtout pour le nomade. De plus, il est raisonnable de penser qu'au cours de leur stagnation dans ces derniers, une certaine fraction d'entre elles pourront s'infiltrer profondément et alimenter les nappes souterraines. C'est aussi cette destination qu'une fraction des eaux pourra avoir lorsque, durant leurs parcours, elles rencontreront des terrains favorables. C'est pourquoi l'on peut dire que l'alimentation des nappes aquifères profondes du Sahara dépend en grande partie, sinon en totalité, des écoulements intermittents des oueds. Il apparaît en effet, de plus en plus, que le rôle des ergs en cette affaire est moins important qu'on ne le pensait. Ces derniers ne sont, en grande partie, que de vastes éponges capables d'absorber l'eau tombant à leur surface et de la restituer lentement à l'atmosphère ou aux plantes.

Les eaux des crues sont aussi utilisées par les Sahariens lors de leurs cultures temporaires dans les maaders et les graaras et, parfois, dans le lit même des oueds.



Forage artésien de Guerrara

Un des puits artésiens de Zelfana

Ph. STEP

Évaluation du ruissellement au Sahara

Le problème capital du développement économique du Sahara réside au fond dans l'évaluation la plus exacte possible de l'actif du bilan hydrologique de ce pays et celui-ci, nous venons de le voir, dépend en grande partie du volume annuel des eaux du ruissellement. On peut estimer à 30 milliards de mètres cubes la quantité d'eau qui peut s'écouler sur l'ensemble du Sahara. Bien entendu, une grande partie de ces eaux va être perdue pour l'alimentation des nappes profondes. Quelle peut être la fraction atteignant ces dernières ? C'est ce que nous ne savons pas encore de façon certaine. Il est raisonnable de penser cependant qu'elle peut être évaluée à un nombre respectable de millions de mètres cubes.

En définitive, c'est dans la résolution de ce calcul, difficile et complexe, de la quantité d'eau qui peut s'écouler au Sahara que dépendra l'orientation à donner à son développement économique. Le moins que l'on puisse dire c'est qu'il demandera encore beaucoup d'observations et un réseau pluviométrique beaucoup plus resserré que celui qui est actuellement en place.

La pluie provoquée au Sahara

Augmenter la quantité d'eau de pluie tombant sur le Sahara serait évidemment la solution idéale pour promouvoir un pays fertile. Dans l'état actuel de la technique de la « pluie provoquée », il est difficile de se faire une opinion valable. Pour les uns les résultats sont certains, pour les autres ils restent contestables ou du domaine de l'utopie. Ce qui nous paraît le plus sûr, c'est qu'il n'est pas possible, actuellement, de créer la pluie si la situation météorologique n'est pas favorable; autrement dit, certains nuages peuvent donner des précipitations,

d'autres non. Par contre, il n'est peut-être pas impossible d'augmenter la quantité de pluie, lorsque celle-ci commence à se produire, ou est sur le point de le faire.

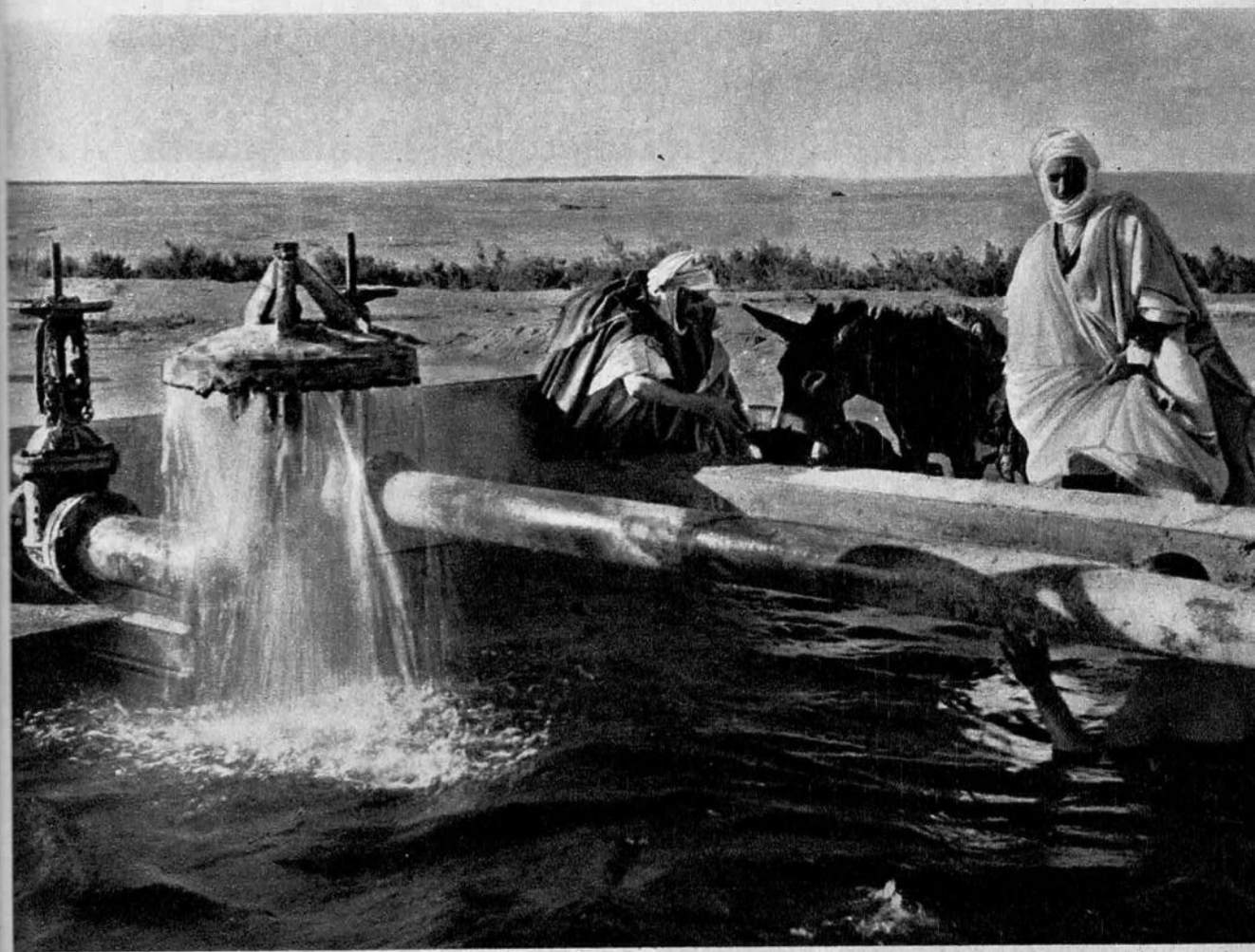
Au Sahara s'ajoute une difficulté nouvelle. Elle est due à la grande sécheresse et à la température des basses couches de l'atmosphère qui sont capables d'absorber une partie importante des précipitations durant leurs chutes. Il était donc prudent en ce pays de ne tenter des expériences que dans les régions les plus favorables, c'est-à-dire en hautes montagnes. C'est la solution à laquelle semble s'être ralliée «l'Association pour l'Étude de la Pluie provoquée», en choisissant le Hoggar comme terrain de ses premières expériences. Mais si l'on veut avoir des résultats incontestables, il faut être certain que l'augmentation que l'on pourra peut-être constater est bien le fait de l'expérience tentée et non celui de la variabilité bien connue des pluies sahariennes. Ceci suppose, avant toutes choses, l'établissement d'un réseau pluviométrique extrêmement serré et des observations réparties sur une période de temps suffisante.

Il n'en reste pas moins qu'il y a là une solution d'avenir au problème du développement économique du Sahara.

Les barrages réservoirs

Le volume parfois énorme des crues qui parcourent sporadiquement le lit de certains oueds donne idée d'emmagasiner ces eaux derrière un barrage de retenue pour les distribuer ensuite rationnellement au cours des saisons selon les besoins des cultures irriguées établies en aval. Un certain nombre de barrages réservoirs ont été ainsi construits en Afrique du Nord (en Algérie, en particulier), où ils « régularisent » les oueds des versants méditerranéens et atlantiques.

Le même procédé paraît, à priori, appli-



Ph, STEP

cable aux oueds sahariens; il faut souligner pourtant un certain nombre de particularités qui leur sont propres :

— les crues des oueds sahariens, contrairement à celles des cours d'eau rejoignant la mer, ne sont pas totalement perdues : une partie s'infiltre pour enrichir des nappes souterraines alimentant puits et forages artésiens, nous venons de le voir;

— les oueds qui ont des crues assez abondantes pour justifier une tentative de régularisation sont liés à l'existence d'un massif montagneux (précipitations plus abondantes, ruissellement rapide), d'où la localisation des emplacements de barrages de retenue au pied sud de l'Atlas saharien et, éventuellement, au Hoggar;

— les grandes crues ne sont pas toujours annuelles et il faudrait, pour bien faire, prévoir une régularisation inter-annuelle (capacité de retenue du barrage égale à la consommation de deux années au moins) ou se contenter de cultures supportant de temps en temps sans perte catastrophique une année d'irrigation restreinte ou nulle;

— l'évaporation, énorme au Sahara, consomme en pure perte, au cours de l'année, une grosse partie de la réserve; le rendement des barrages réservoirs est donc diminué d'autant, la concentration en sels dangereusement augmentée.

Malgré ces éléments défavorables, un important barrage a été construit à Foum el Guerza au nord-est de Biskra pour régulariser l'oued el Abiod et alimenter en eau l'oasis de Sidi Okba.

A l'autre extrémité de l'Atlas Saharien, vers la frontière marocaine, un barrage est à l'étude sur l'oued Guir; il retiendra 800 millions de mètres cubes d'eau utilisés en partie pour mettre en valeur 15 000 à 20 000 ha de bonnes terres alluviales situés en aval, en partie pour alimenter en eau le centre de Colomb-Béchar.

Barrages d'épandage de crues

De tout temps les crues ont été utilisées à la culture des céréales d'hiver en aidant à l'épandage par de petits ouvrages de dérivation, le plus souvent enlevés par le gros des crues après avoir rempli momen-

Une méthode traditionnelle d'ex

Les foggaras sont de longues galeries souterraines qui permettent, lorsque les conditions topographiques sont favorables, d'amener à la surface du sol, par écoulement suivant une faible pente, les eaux drainées en profondeur. Ces galeries peuvent avoir parfois jusqu'à plusieurs kilomètres de long. D'avion on les décèle par les séries

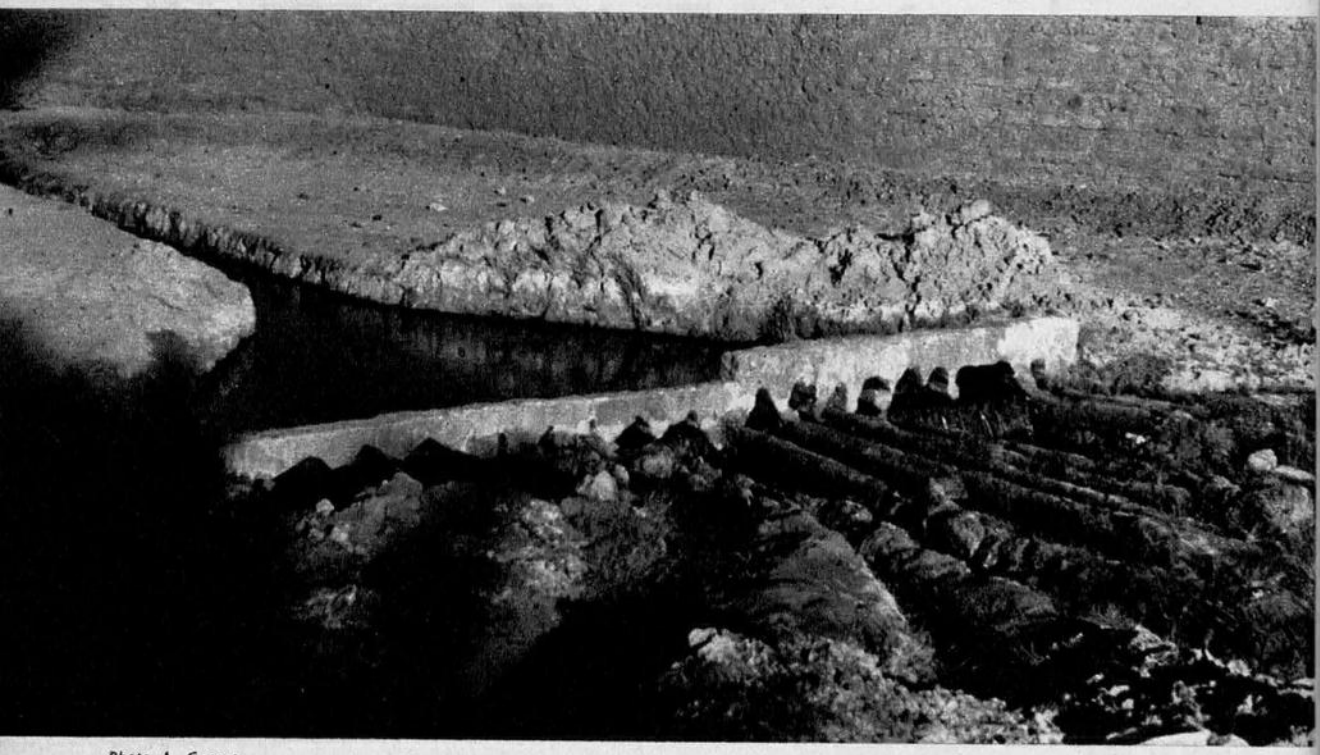


Photo A. Cornet

tanément leur rôle. A de tels barrages temporaires la technique européenne a apporté un sérieux appoint en substituant aux ouvrages fragiles en terre ou en pierres sèches des ouvrages plus résistants en gabions, parfois en maçonnerie. Le barrage d'El Fatha, en aval de Laghouat, permet ainsi l'irrigation d'un millier d'hectares.

Plus à l'Est, celui des Ouleds Djellal permet d'utiliser les eaux des crues à l'irrigation d'une importante palmeraie, le reliquat pouvant éventuellement servir à cultiver des céréales d'hiver.

Les eaux souterraines

Dans une grande partie du Sahara, le sous-sol contient heureusement des couches perméables, parfois épaisses de quelques centaines de mètres et souvent continues sur plusieurs centaines de kilomètres. Ces couches perméables, lorsqu'elles affleurent largement dans des régions particulièrement arrosées, ont leurs pores ou leurs fissures remplies d'eau et constituent d'importantes nappes aquifères.

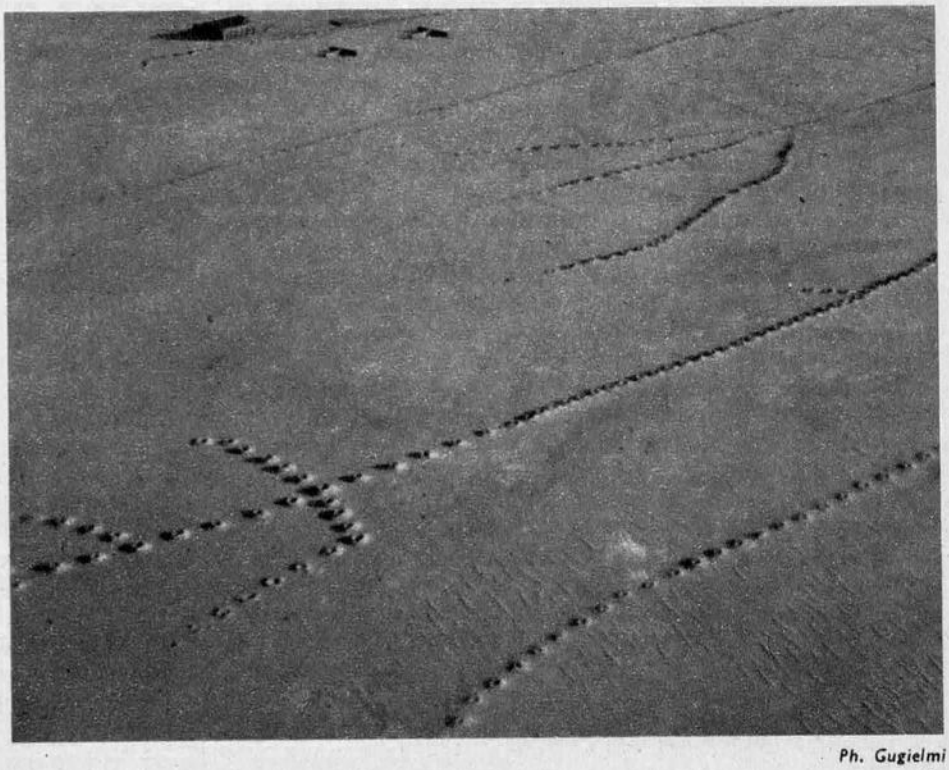
C'est ainsi que sur des terrains primaires peu perméables ou imperméables, repose une importante série de grès intercalés d'argiles dont l'épaisseur oscille autour de 500 à 600 m (parfois beaucoup plus) et qui s'étend d'une manière continue sur une superficie sensiblement égale à celle de la France, de l'Atlas au Tidikelt et de la Saoura jusqu'au delà de la frontière libyenne.

Cette série gréseuse, perméable dans son ensemble, a reçu le nom de *Continental Intercalaire* car elle n'est pas d'origine marine comme la plupart des sédiments, mais formée d'alluvions sableuses et argileuses accumulées sur un continent émergé. Ce sont des terrains d'âge crétacé inférieur, jurassique en certains points, longtemps attribués à l'étage albien, d'où le terme de *nappe albienne* encore employé pour désigner l'appareil hydraulique qu'ils contiennent.

Au point de vue géométrique, ces couches offrent la particularité d'affleurer dans l'Atlas Saharien à des altitudes dépassant 1 000 m et atteignant parfois 1 500 m pour descendre assez régulièrement vers le Sud, souvent recouvertes par d'épais sédiments argileux

ploitation des eaux du sous-sol

de petits cratères alignés qui ont servi à leur exécution, ainsi qu'on peut les voir sur la photographie aérienne de droite. On voit à gauche la sortie de la foggara d'Adrar. L'eau qui en émerge est judicieusement répartie entre les différents propriétaires de l'oasis en la faisant passer par les trous calibrés d'une dalle de pierre.



Ph. Gugielmi

imperméables jusqu'au Tidikelt où elles réapparaissent à la cote 200 m environ.

A l'Est de cette ligne, les grès du Continental Intercalaire s'enfouissent à de grandes profondeurs (1 000 à 2 000 m et peut-être au delà) dans la zone Biskra-Touggourt-Ouargla.

Dans l'Atlas, les mêmes grès constituent le fond de larges vallées et bénéficient de l'accumulation des eaux de ruissellement dont une fraction notable s'infiltre et descend lentement vers le Sud et le Sud-Est en suivant les bancs gréseux perméables pour réapparaître d'El Goléa à In Salah en passant par Timimoun, Reggane, Aoulef, soit grâce à des galeries drainantes de facture indigène (foggaras), soit par puits artésiens (El Goléa et Tidikelt), soit par puits ordinaires utilisés par les pasteurs.

Les forages artésiens

Infiltrée à plus de 1 000 m (Atlas) et restituée aux points les plus bas vers 200 m (Reggane), l'eau présente tout au long de cette descente nord-sud un « niveau hydrostatique » régulièrement décroissant. En d'autres termes, si l'on jalonnait un méridien par une série de puits atteignant la «nappe albienne» à travers l'épaisse couverture sédimentaire qui la protège, on verrait l'eau s'équilibrer dans ces puits à des altitudes régulièrement décroissantes du Nord au Sud. Il en serait de même vers le Sud-Est et l'Est où s'écoulent également les eaux du Continental Intercalaire. Là où le niveau hydrostatique est supérieur à la cote du sol, l'eau est artésienne et un forage perçant le toit imperméable donne des eaux jaillissantes; là où le niveau hydrostatique est inférieur à la cote du sol, l'eau peut être ascendante, mais elle n'est pas jaillissante, et son exploitation exige un pompage à des profondeurs parfois considérables.

Il est essentiel d'observer que, par rapport à la superficie totale de la « nappe albienne », et à plus forte raison par rapport à la surface totale du Sahara, les zones où l'eau est jaillissante sont assez réduites.

Indépendamment des groupes d'El Goléa, In Salah, Fort Flatters, la zone d'artésianisme du Continental Intercalaire correspond au revers est du Mzab, à une partie de l'Erg Oriental et au bas Sahara, c'est-à-dire à la région où les grès aquifères sont enfouis à une grande profondeur et réclament pour être exploités des forages de 1 000 à 2 000 m, très coûteux eu égard au résultat acquis.

Malgré ces difficultés, de grands forages de facture identique aux grands ouvrages pétroliers ont été exécutés dans le but de mieux connaître les possibilités de cette nappe, de sauver des palmeraies actuellement en déficit d'irrigation ou de créer de nouveaux centres de vie. La profondeur de 1 000 m a été dépassée la première fois à Zelfana (1 167 m) en 1948. Le deuxième forage de Zelfana, réalisé plus récemment, fournit 360 l d'eau jaillissante par seconde; la plus grosse pression au sol a été observée à Tamellhat où le forage exploite, entre 1 500 et 1 600 m de profondeur, une eau présentant une pression de 30,7 kg à la bouche du puits (l'eau pourrait s'élever à 307 m au-dessus du sol); il est suivi de près par Tamerna (profondeur 1 750 m, pression au sol 28,9 kg); le record des profondeurs pour les forages d'eau a été atteint à Sidi Khaled, *le plus grand puits artésien du monde*, qui exploite l'eau entre 1 950 et 2 150 m de profondeur (le forage a été poussé à 2 600 m en reconnaissance). Signalons les forages jaillissants de Guettara (1 120 m, 106 l/s), Guerrara (850 m, 238 l/s), Ouargla (1 250 m, 250 l/s). Enfin, Hassi Messaoud, destiné à alimenter en eau les installations pétrolières, atteint 1 425 m et fournit 172 l/s.

Au total, compte tenu de nombreux autres ouvrages jaillissants ou non, on extrait actuellement par forage au Continental Intercalaire environ 2,5 m^3 d'eau par seconde.

Les Foggaras

Depuis plusieurs siècles les habitants des zones occidentales d'affleurement des grès « albiens » (Gourara et Touat en particulier) exploitent les eaux de cette formation par des galeries drainantes dirigées parallèlement au sens d'écoulement des eaux; la pente de ces galeries, suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau qu'elles drainent, est inférieure à celle du sol et permet ainsi aux eaux de s'écouler jusqu'aux jardins placés en contrebas de la sortie de l'ouvrage.

Ce qui fait surtout l'originalité des foggaras sahariennes, c'est leur grand nombre et le travail énorme que leur exécution et leur entretien représentent: on peut dénombrer de Timimoun à Aoulef plusieurs centaines de ces galeries dont la longueur atteint parfois 8 à 10 km. Au total, plus de 1 000 km de tunnel percent les grès tendres de la région, et comme l'exécution de ces galeries a exigé celle de nombreux puits entourés d'un cône de déblais, un nombre énorme de petits cratères ou de grosses taupinières alignées parsèment le paysage et lui don-

nent, vu du sol ou même d'avion, un caractère particulier.

Au total, l'immense appareil drainant constitué par les foggaras extrait du Continental Intercalaire 3,2 m³ d'eau par seconde, *plus que le débit actuellement tiré des forages.*

Dans les régions où l'artésianisme n'est pas possible, les foggaras constituent un moyen simple d'amener l'eau à la surface du sol, mais, outre qu'elles exigent des conditions topographiques pas toujours réalisées, leur exécution et leur entretien entraînent des frais de main-d'œuvre considérables. A cet écoulement des eaux par gravité, on est tenté de substituer l'extraction par force motrice et d'employer pour cela l'énergie éolienne.

Une éolienne de grande dimension fonctionne à Adrar depuis 1953; ses pales de 7,5 m (15 m de diamètre), placées sur une tour de 20 m de hauteur, lui donnent une puissance de 25 à 30 ch pour un vent de 7 à 8 m/s. Elle actionne une pompe fournissant 20 à 50 l/s.

Les vents ne sont pas toujours assez réguliers pour garantir une irrigation permanente et, dans une exploitation agricole, l'éolienne devrait souvent être doublée d'une autre source d'énergie, ce qui diminue considérablement l'intérêt de l'installation.

Autres nappes aquifères

Nous avançons avec beaucoup de réserve le chiffre de 25 à 30 m³/s pour fixer la réalimentation de la nappe « albienne » par les infiltrations dont bénéficient ses affleurements. L'exploitation actuelle atteint environ 8 m³/s : cette exploitation ne devra pas être développée exagérément si l'on ne veut pas entamer la réserve, car toute atteinte à cette dernière, en provoquant une baisse généralisée du niveau hydrostatique, amènerait un asséchement des puits ordinaires et des foggaras. Il n'est pas dit que les 25 à 30 m³/s apportés chaque année à la nappe soient récupérables. En d'autres termes, contrairement à ce qui a été écrit, *les possibilités de la nappe du Continental Intercalaire sont limitées.*

Il existe heureusement d'autres ressources aquifères qui, pour moins abondantes qu'elles soient, n'en fournissent pas moins une contribution importante à l'économie de l'eau au Sahara. Au-dessus du Continental Intercalaire, les calcaires du Crétacé Supérieur et de l'Éocène constituent dans le Mzab, le Tademaït, le Tinrhert et, sous une partie du bas Sahara et de l'Erg Oriental, une nappe sensiblement continue capable de fournir des débits intéressants. Ce sont ces formations qui donnent par sources et puits artésiens dans les Zibans plus de 2 m³/s.

Plus haut encore, le Tertiaire Continental (dit miopliocène) fournit abondamment des points d'eau aux pasteurs des hamadas du piémont de l'Atlas et des grands ergs : ces formations donnent par les forages artésiens de l'Oued Rhir 5 m³ d'eau par seconde; elles se relient aux formations identiques du Sud Tunisien (Tozeur) par les forages récents de la région d'El Oued.

Les terrains primaires sont moins riches en eau, mais ne sont pas dépourvus de ressources, parfois capables de répondre aux besoins de l'alimentation en eau potable de centres humains.

Quant aux massifs cristallins (Dorsale Reguibat à l'Ouest et Hoggar), leurs seules ressources notables sont contenues dans les alluvions des oueds (inféro-flux); relativement abondants au Hoggar, ces inféro-flux sont beaucoup plus réduits dans le Sahara Occidental.

Conclusions

Nous laisserons à leurs auteurs les projets prétendant transformer le Sahara : la constitution d'une mer intérieure ne changerait pas grand chose à l'aridité saharienne (les exemples de déserts bordés par des océans ne manquent pas); quant aux projets grandioses de détournement massif des grands fleuves tropicaux, ils se heurtent à des problèmes techniques et financiers pour longtemps insolubles.

Il reste les ressources effectivement connues ou « possibles ». Nous ne pouvons chiffrer avec exactitude ni le ruissellement, ni l'infiltration; nous ne pouvons donc pas préciser les débits disponibles dans les nappes souterraines, mais nous en connaissons l'ordre de grandeur : il n'est pas tellement différent des quantités actuellement exploitées; on peut améliorer l'état de chose existant, on ne peut pas espérer transformer foncièrement le Sahara.

Collez quelques confetti sur le mur nu d'une chambre et vous aurez une image des surfaces cultivées au Sahara; collez-en quinze ou vingt de plus : vous aurez une idée de ce que pourrait apporter *l'exploitation totale* de ses possibilités aquifères. Il restera encore beaucoup de désert !

Jean Dubief
Physicien à l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe (Alger)

André Cornet
Chef de la Section Géologie à la Direction de l'Hydraulique (Alger)

CHARBON, FER, MANGA

NÈSE, CUIVRE, ÉTAIN...

D'énormes richesses minières attendent leur mise en valeur

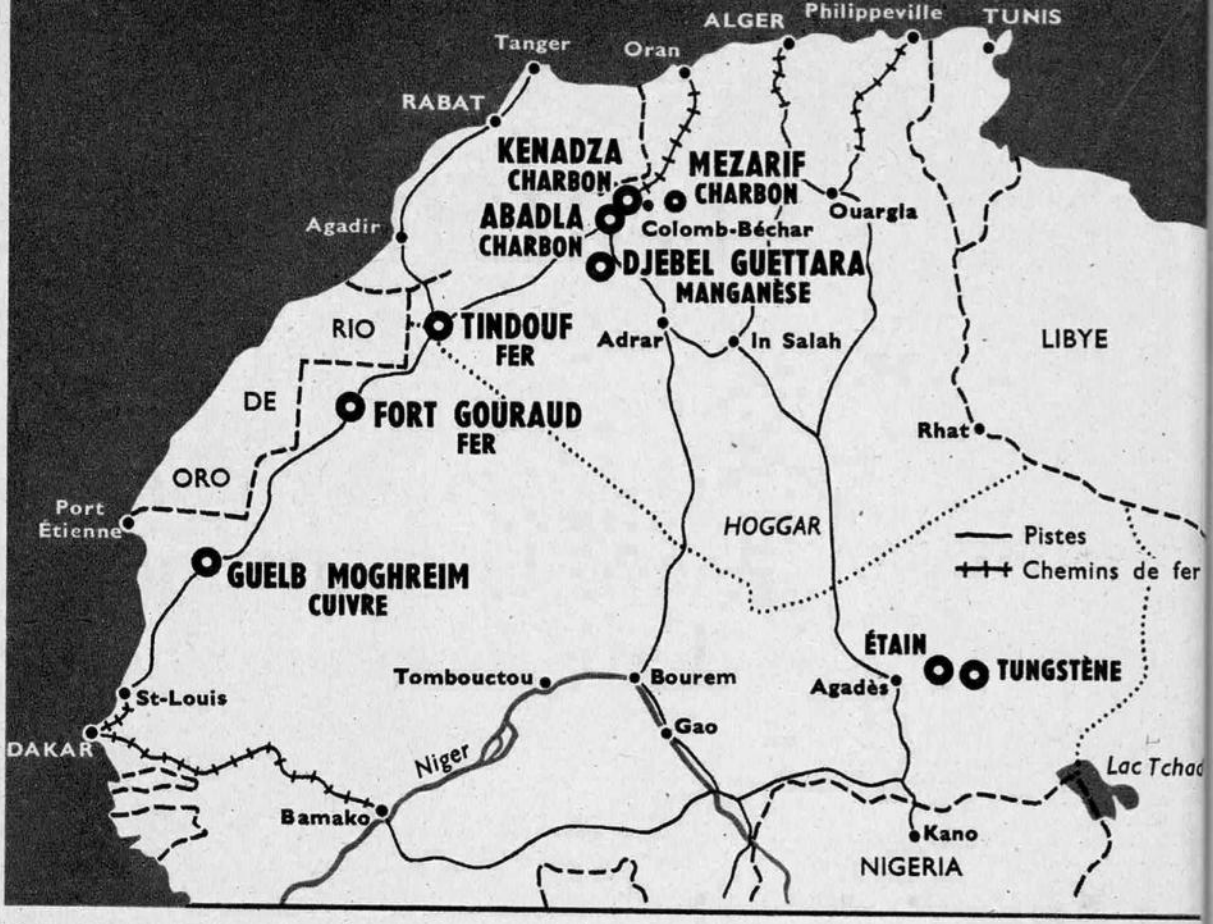
LE Sahara n'est pas un pays comme un autre. Il fut longtemps difficile d'accès et pratiquement interdit aux Européens. Quant aux populations autochtones, elles n'avaient aucune idée sur la nature des minéraux utiles et ne connaissaient guère que le sel, ce sel de cuisine tant recherché par les hommes et les animaux.

Les débuts de l'occupation française du Sahara ne remontent qu'à un demi-siècle et la pacification complète est à peine terminée. Tout travail scientifique y fut toujours extrêmement difficile et exigea des explorateurs intrépides comme E. F. Gautier et René Chudeau d'abord, puis Conrad Kilian, N. Menchikoff et Th. Monod. L'idée même d'utiliser le Sahara fut émise en 1925-1927 par l'Académie des Sciences Coloniales, qui mit le sujet au concours. Il y eut une réponse, celle d'E. F. Gautier qui apporta un Mémoire retentissant : « *Le Sahara vaincu peut-il être dompté ? L'Aménagement du Sahara.* »

Trente ans ont passé. La même question se pose à nouveau, mais on possède des commencements de réponse, parce que, depuis 1945, la Métropole s'est occupée d'étudier le Sahara. Des équipes de géologues se sont dispersées de tous côtés, depuis la côte atlantique jusqu'au Tibesti, essayant de comprendre la structure, puis de découvrir des ressources minérales autres que l'eau et le pétrole. Dans ce désert parfait, on a trouvé des gisements

← **LA « MONTAGNE DE FER »** *de Fort-Gouraud a une teneur de plus de 65 % de fer-métal. D'autre part, la réserve prouvée de l'ensemble du gisement de Fort-Gouraud dépasse de beaucoup les 100 millions de tonnes.*

Information A.O.F. - Cl. Gaborieau



Principaux gisements miniers prospectés

de minerais qui pourraient devenir des mines exploitées, et même de grandes mines.

Les minéraux exploitables sont dès maintenant le sel et le charbon, le fer et le manganèse, le cuivre et l'étain. Ce ne sont pas des indices, ce sont des gisements prospectés et cubés. Le minerai est là, il est à vendre. Il ne manque plus que quelques conditions préliminaires pour commencer l'exploitation; nous y reviendrons plus tard. Pour l'instant, nous allons décrire les ressources actuellement connues et même citer les indices qui encouragent les prospecteurs à poursuivre leurs efforts.

Le Sel

La seule richesse minérale exploitée par les habitants du Sahara fut toujours le sel.

Le sel se trouve en couches de 2 à 40 centimètres, intercalées dans des argiles constituant des dépôts lacustres, au fond de cuvettes naturelles : les sebkhas.

En Mauritanie, on connaît les salines d'Idjil, qui fournissent annuellement 25 000 barres de 20 kg et les salines du Trarza encore plus riches.

Dans le Sahara soudanais, les salines de Taoudéni, situées à 700 kilomètres au nord de Tombouctou, ont remplacé au XVI^e^ siècle celles de Teghazza, attaquées par les pirates marocains. La production annuelle oscille, selon les besoins, entre 10 000 et 100 000 barres de 30 kg. Deux fois par an, en novembre et en mars, de grandes caravanes de chameaux (de 3 000 à 30 000 bêtes) vont ravitailler les travailleurs et assurer le transport du sel, qui est vendu à Tombouctou, puis en Haute-Volta.

Plus à l'Est, les salines du Kaouar se situent entre l'Aïr et le Tibesti. Elles produisent à peu près autant de sel que celles de Taoudéni. On cite aussi les salines du Borkou et de l'Ennedi et celles du Hoggar.

Dans l'ensemble, ce sel représente environ 200 millions de francs et constitue la principale monnaie d'échange des Saha-

riens, du Nord et du Sud, qui ne produisent rien et doivent tout acheter.

Il existe d'autres possibilités, bien plus importantes d'ailleurs au point de vue industriel : ce sont les bancs de sel de Colomb-Béchar, qui atteignent une épaisseur de l'ordre de 500 mètres.

Le sel trouve toujours preneur tant au Sahara qu'en Afrique Noire, et le sel saharien soutient fort bien la concurrence avec le sel européen.

Le Charbon

Les « Territoires du Sud » furent créés par une loi du 24 décembre 1902. La géologie et la prospection en furent confiées à G.B.M. Flamand, Directeur-Adjoint du Service de la Carte Géologique de l'Algérie.

G.B.M. Flamand était ce Préparateur de géologie de l'École Supérieure des Sciences d'Alger, à qui on devait la prise d'In-Salah au début de 1900. Il avait du goût pour ce genre de travail et se mit à la tâche tout aussitôt.

En avril 1907, il étudiait les environs de Colomb-Béchar. Le 1er mai, il était à Kenadza, à 30 kilomètres à l'ouest-sud-ouest de Colomb-Béchar, en compagnie du capitaine Anthoine et du lieutenant Huot. Au lieudit Haci Hadri, près des griffons des sources artésiennes de l'oasis, il eut la surprise de voir dans les grès de petits bancs charbonneux à végétaux fossiles. Dès son retour à Colomb-Béchar, il communiqua sa découverte au lieutenant-colonel Pierron et au capitaine Maury, puis au Gouverneur Général de l'Algérie. Six semaines plus tard, suivant les indications de G.B.M. Flamand, le capitaine Maury et le lieutenant Huot poursuivirent les recherches et mirent à jour la flore fossile de Gueltat Sidi Salah (15 juin). Le 16 juillet 1907, G.B.M. Flamand présenta une note à l'Académie des Sciences pour annoncer la découverte de la houille dans le Sud oranais et d'une flore fossile carbonifère.

Chose étrange, le monde scientifique et industriel de cette époque refusa absolument de s'intéresser à cette découverte. On « ne croyait pas » à l'existence de charbon en Afrique et on ne chercha pas davantage.

Il fallut attendre dix ans pour entendre à nouveau parler de charbon. Dans la même région, mais dans un autre endroit, des indigènes avaient creusé un puits et en avaient retiré une boue noire, qui brûlait lorsquelle était sèche. Le fait leur parut si étonnant qu'ils en firent part au capitaine Cao Van, qui fit creuser deux puits en juin 1917 et trouva une veine de charbon.

On était alors au milieu de la guerre, ce qui entraînait une pénurie de combustible. L'Administration des Chemins de Fer Algériens s'intéressa à la découverte, entreprit des travaux quelques mois plus tard et retira 4 379 tonnes de charbon de ce gisement en 1918. La Compagnie obtint une concession en 1922 et reprit l'exploitation. Bon an, mal an, elle sortit 15 000 tonnes chaque année jusqu'en 1939.

La nouvelle guerre incita à pousser l'exploitation, et la production atteignit 100 000 tonnes en 1942, et même 215 000 en 1946.

L'année suivante, les combustibles minéraux furent nationalisés et les charbonnages de Kenadza devinrent un établissement public portant le nom de « Houillères du sud-oranais ».

La nouvelle compagnie reçut de l'État des crédits considérables, ce qui ne diminua pas le déficit de l'exploitation. Les mines de charbon de Kenadza produisent environ 300 000 tonnes par an, dont chaque tonne coûte 3 500 francs aux contribuables. La meilleure solution serait de ne pas vendre ce charbon trop coûteux à produire et à transporter, mais à le consommer sur place dans une grande usine thermique.

C'est aussi depuis 1947 que les géologues ont prospecté la région et préparé la mise en valeur de nouveaux bassins. Il y a surtout le bassin d'Abadla-Sfaia-Ksiksou dans la vallée du Guir, à 80 kilomètres au sud de Kenadza, qui possède une veine de charbon de 75 centimètres d'épaisseur. La réserve totale est estimée à 100 millions de tonnes.

A 70 kilomètres à l'est de Colomb-Béchar se trouve le bassin du Mézarif, où quatre veines ont été reconnues.

Ce bassin charbonnier, dit de Colomb-Béchar, est le seul qui ait été prospecté dans le Sahara. Il existe ailleurs des terrains carbonifères susceptibles de contenir des veines de charbon, mais ils n'ont pas encore été prospectés et se trouvent de plus dans des endroits d'accès difficile. Nous citerons la région située au nord de Tindouf, la cuvette de Taoudéni dans le centre du Sahara, le Tidikelt au nord du Hoggar et la zone située à l'ouest du massif de l'Aïr.

Le gisement de fer de Tindouf

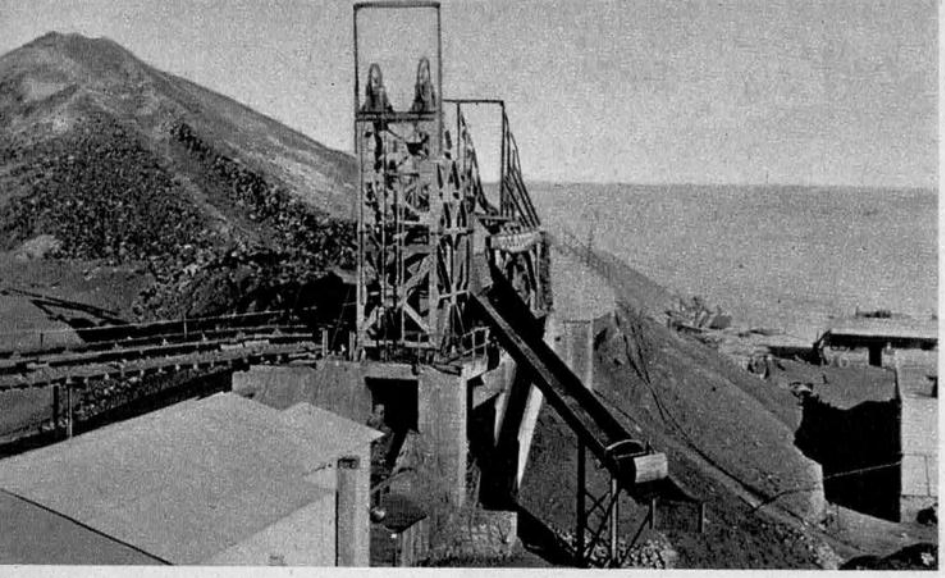
Le Sahara français contient de nombreux gisements de fer, mais on n'en connaît que deux qui soient exploitables : l'un dans la région de Tindouf et l'autre à Fort-Gouraud, en Mauritanie.

SUITE PAGE 69

Le sel, seule richesse minérale exploitée par les habitants du grand désert

LA région du Tibesti renferme de nombreuses salines, comme ce « Trou au Natron » qui a près de 40 km de long et forme une immense cuvette dans le haut plateau qui arrive au pied du Toussidé, ancien volcan de plus de 3 000 m dont le sommet se profile à l'horizon. Par des sentiers acrobatiques, les Toubous descendent quelquefois les falaises de 600 m de haut qui surplombent les blanches efflorescences et en remontent du sel aux multiples usages plus ou moins médicaux. Dans d'autres salines plus accessibles, le sel est recueilli avec des outils rudimentaires et mis en forme de pains; la photographie reproduite ci-contre montre une des formes sous lesquelles il est ainsi commercialisé.

Photos Grandin

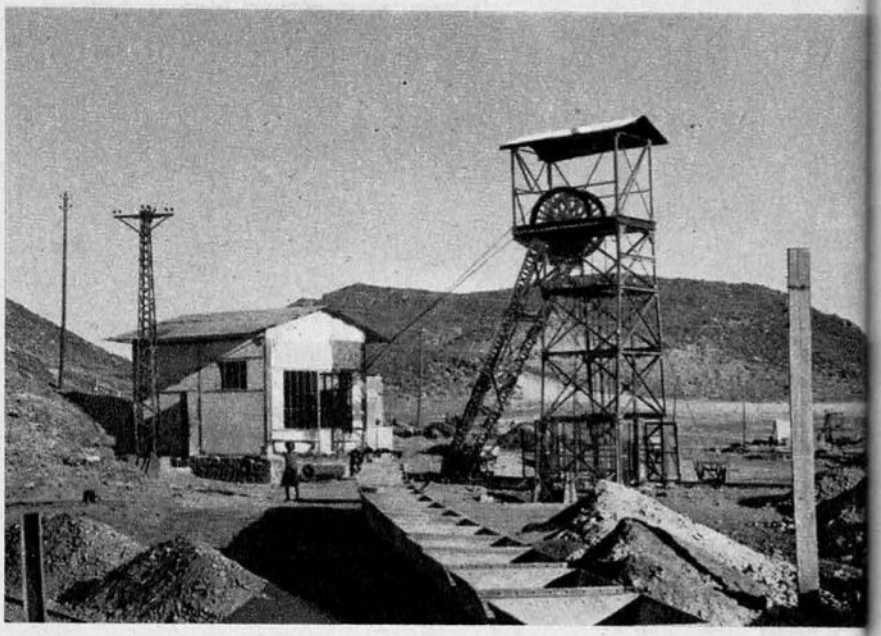


Ph. Bureau Industriel Africain

Les houillères du Sud-Oranais

Les mines de charbon de Kenadsa produisent environ 300 000 t par an. Les frais d'exploitation et surtout de transport étant élevés, il y aurait intérêt à consommer le charbon sur place dans une grande centrale thermique dont le principe a d'ailleurs été adopté depuis quelques années déjà.

Doc. B.I.



Le gisement de cuivre d'Akjoujt

Le gisement renferme 18 millions de tonnes de minerai à 1,5 % de cuivre-métal et 9 millions de tonnes à 2,5 %. D'après les résultats de la laverie pilote mise en place en 1955, la production annuelle pourrait atteindre 60 000 t de minerai concentré à 27 % qui seraient évacuées par des camions.

Doc. B.I.A.-Cl. F.O.M.

Le gisement de fer de Tindouf

Il s'agit d'un gisement formidable de plus de 2 milliards de tonnes, au voisinage immédiat de la frontière algéro-mauritanienne, à 120 km de Tindouf, au lieudit Gara-Djebilet. La teneur moyenne du minerai est de 54 % environ ; l'utilisation de moyens mécaniques sera facile, la mine pouvant être à ciel ouvert.

SUITE DE LA PAGE 65

Le gisement de fer de la Gara Djebilet, dit de Tindouf, a été découvert en 1952 par le géologue P. Gevin, chargé de lever la carte géologique de la région. La prospection en fut entreprise aussitôt par le Bureau de Recherches minières de l'Algérie.

Ce gisement est constitué par trois grandes lentilles de minerai de fer oolithique situées dans des grès dévoniens. Des forages de reconnaissance ont permis de délimiter ces lentilles, d'en connaître l'étendue, l'épaisseur moyenne et les teneurs en métal (qui sont variables).

Un gisement d'importance internationale

Les réserves actuellement reconnues dépassent *deux milliards de tonnes de fer-métal.* Dans la pratique, on ne peut exploiter utilement que les tranches d'une teneur supérieure à 50 % de fer-métal. Il s'en trouve ici *plus d'un milliard de tonnes* absolument certaines, et c'est un gisement d'importance internationale. L'avenir peut réserver d'autres surprises heureuses, puisque les mêmes couches, contenant également du minerai de fer (moins riche et inexploitable), ont été retrouvées par J. Destombes dans la vallée du Draa, en territoire marocain.

Le gisement de la Gara Djebilet est le plus beau gisement du Sahara français, mais sa mise en valeur demande 100 milliards d'investissements préliminaires.

Le seul point d'eau important de la région est celui d'Aouinet Legra, à 40 kilomètres de la Gara centrale, et qui peut fournir 5 000 litres par jour au maximum.

A côté du problème de l'eau, qui peut être résolu par les géologues, il faut dire qu'il existe un grave problème de transport. Cet énorme gisement se situe à 500 kilomètres de la côte atlantique marocaine et à 750 kilomètres de Colomb-Béchar, points auxquels rien ne le relie. Il faut donc d'abord construire une voie ferrée et un port d'embarquement en territoire marocain. L'exploitation devrait être de l'ordre de 10 millions de tonnes par an, pour être rentable malgré la situation géographique.

Le gisement de Fort-Gouraud

En l'an 1067, le géographe arabe El Bekri dit qu'une « montagne de fer » est exploitée dans la Koudiat d'Idjil. Aucun Européen ne la vit, ni n'en parla pendant des siècles. Tout au plus, les aviateurs de l'Aéropostale signalèrent-ils de singuliers dérèglements de leurs boussoles lorsqu'ils passaient au-dessus de la Koudiat d'Idjil, au cours de leurs étonnants voyages entre le Maroc et Dakar. Ceci se passait vers 1930. Lors de la construction du poste de Fort-Gouraud en fin 1933, les généraux de Boisboissel et Freydenberg remarquèrent ce minerai de fer qui servit d'ailleurs à construire le poste. C'est alors que l'ingénieur E. Segaud en eut connaissance et le signala dans la Chronique des Mines coloniales (avril 1934).

Ce gisement perdu dans le Sahara n'intéressa personne avant 1946, date à laquelle un géologue du Service des Mines de l'A.O.F., A. Blanchot, fut chargé de son étude. Une prospection privée eut lieu vers la même époque. Les travaux de recherches continuèrent en 1948, 1949 et 1951. Les résultats ont été favorables.

Le minerai est lié à des quartzites ferrugineux très anciens, contenant 30 à 45 % de fer-métal, mais le minerai de bonne qualité, exploitable, contient plus de 65 % de fer-métal. On en a reconnu trois gîtes : F'Dérick (50 000 mètres carrés), Rouessa (100 000 mètres carrés) et Tazadit (100 000 mètres carrés).

La réserve prouvée dépasse 100 millions de tonnes. Les prévisions d'exploitation envisagent une production annuelle de 3 à 5 millions de tonnes. La concession appartient maintenant à une « *Société des Mines de Fer de Mauritanie* » (la *MIFERMA*), formée par l'association du *Bureau Minier de la France d'Outre-Mer* et divers groupes français (51 %), du holding italien *FINSIDER* (34 %) et de la *British Iron and Steel Corporation* (*Ore*) (15 %).

La question de l'eau n'est pas encore résolue, mais le sera par les géologues. Le grand problème de la mine de Fort-Gouraud est celui de l'évacuation du minerai, situé à 300 kilomètres de la côte, à vol d'oiseau. Il faut construire une voie ferrée, soit jusqu'à Port-Étienne dont le site se prête à la mise en route d'un port d'embarquement, soit jusqu'à Nouakchott, la nouvelle capitale de la Mauritanie, qui ne possède pas de port. Les dépenses prévues sont de l'ordre de 50 milliards.

Signalons encore, pour mémoire, la découverte récente de quartzites ferrugineux à Sfariat au nord-est de Fort-Gouraud.

Le manganèse

C'est encore dans le nord-ouest du Sahara que nous allons trouver un très beau gisement de minerai de manganèse : au Djebel Guettara, à 150 kilomètres au sud de

Colomb-Béchar et 100 kilomètres à l'ouest de Béni-Abbès.

Le gisement a été étudié par la *Société d'Études nord-africaine de ferro-manganèse*, en liaison avec le *Bureau de Recherches Minières de l'Algérie* et le *Bureau Industriel Africain*.

Les travaux de prospection furent achevés en 1955, permettant de reconnaître une réserve de 900 000 tonnes de minerai à 44 % de manganèse, 10 ou 15 % de silice et 0,45 % d'arsenic. On y ajoute 450 000 tonnes d'un minerai à 45 % de manganèse, qui contient malheureusement un peu trop d'arsenic (5 %) difficile à éliminer.

Le gisement pourrait produire 50 000 tonnes par an, mais l'évacuation du minerai nécessiterait la construction d'une voie ferrée jusqu'à Abadla, point terminus de la ligne algérienne passant à Colomb-Béchar.

Il y a d'autres indices notables de minerais de manganèse, mais il ne faut pas oublier que seuls, les grands gisements à haute teneur peuvent être exploités. On connaît ainsi un gisement de 1 million de tonnes au Djebel Kohol (au sud de Géryville) qui est inexploitable parce que le minerai ne contient que 10 à 15 % de manganèse.

De l'autre côté du Sahara, au sud de la frontière de l'Organisation Commune des Régions Sahariennes, nous rappelons l'existence des gisements de minerai découverts au sud d'Ansongo, sur le Niger, par le lieutenant Desplagnes en 1907. On a cité des teneurs locales de 40 à 50 % de manganèse, mais les gisements n'ont pas encore été prospectés.

Le cuivre

La France manque totalement de minerai de cuivre et ce fut avec une satisfaction évidente que l'on apprit en 1946 que A. Blanchot et Salek Ould Lamberton en avaient découvert un gisement en Mauritanie.

Il se trouve au Guelb Moghrein, à 4 kilomètres à l'ouest du poste d'Akjoujt, entre Fort-Gouraud et Nouakchott. Reconnu en surface, il fut prospecté par la Compagnie Générale de Géophysique de 1947 à 1949. Des sondages furent ensuite entrepris par le Bureau Minier de la France d'Outre-Mer et le minerai put être cubé. Il y a 18 millions de tonnes de minerai à 1,5 % de cuivre-métal et 9 millions de tonnes à 2 et 2,5 %. Il s'y ajoute 1 gramme d'or à la tonne.

Ce minerai ne peut évidemment être transporté sans subir un traitement préliminaire, une concentration. Une laverie pilote a été installée en 1955 ; elle fournit un concentré à 27 %, qui peut être transporté à la côte par camion. La question de l'eau fut résolue par J. Archambault; elle était essentielle puisque la laverie consomme 12 000 mètres cubes par mois.

Actuellement, la mine est entre les mains de la Société des Mines de Cuivre de Mauritanie (la *MICUMA*) dont le capital est réparti entre l'État et le secteur privé (Pennaroya et Banque de Paris et des Pays-Bas).

On estime pouvoir produire 60 000 tonnes de concentrés par an, qui seraient évacués par camions sur une piste à construire. Les investissements prévus dépassent 20 milliards.

Il est possible que certains minerais de fer liés au gisement (de la magnétite) puissent être également exploités, ce qui nécessiterait la construction d'une voie ferrée jusqu'à Nouakchott. Ce problème pourrait être lié à celui du minerai de fer de Fort-Gouraud.

D'autres indices ont été cités de place en place en Mauritanie et sur les confins soudanais, mais ils n'ont pas encore été prospectés.

Dans le sud saharien, au Niger français, le voyageur Ibn Batouta a signalé des mines de cuivre à Takedda, près de l'Aïr. Cette indication date de l'an 1354, mais aucune recherche n'a été faite pour contrôler l'existence de cette mine qui a peut-être été épuisée par ses exploitants. C'est un problème qui serait intéressant à élucider, de même que celui des indices des confins Soudan-Mauritanie signalés par R. Furon et V. Pérébaskine en 1928.

Minerais divers

C'est au mois de mai 1945 que Maurice Raulais, géologue de la Fédération de l'A.O.F., découvrit du minerai d'étain dans l'Aïr, sous forme de cassitérite, enrobée dans du quartz ou à l'état libre dans les alluvions et sur les pentes granitiques. Deux ans plus tard, le même géologue découvrit du tungstène à 100 kilomètres au nord du poste d'Agadès, accompagnant la cassitérite. Étain et tungstène étaient ainsi découverts. Il s'y ajouta bientôt la columbite et la tantalite.

Une société privée, la SOMINAIR, exploite ces gisements dans des conditions fort difficiles, par ramassage et concentration à sec. La production de cassitérite est de l'ordre de 100 tonnes par an, qui sont

évacuées par camion jusqu'à Kano, en Nigeria.

On a signalé depuis longtemps l'existence de sables noirs et lourds sur les côtes de Mauritanie. Ces sables noirs à ilménite sont sans doute comparables aux sables titanifères exploités sur les côtes du Sénégal.

On a relevé d'autre part des indices de plomb, zinc, nickel, platine ou uranium en divers lieux du Sahara, mais rien ne ressemble à un gisement exploitable. Ceci est dit dans l'état de nos connaissances en mars 1958 et ne préjuge pas de l'avenir.

Les géologues ont signalé des phosphates de chaux dans la vallée du Tilemsi, à l'ouest de l'Adrar des Iforas. Ces gisements ont été prospectés soigneusement. L. Visse en a fait l'étude pétrographique et l'analyse chimique et il a conclu qu'ils n'avaient pas d'intérêt industriel.

Enfin, en 1957, les géologues prospectant le Hoggar auraient signalé la découverte d'indices de zones diamantifères. On ne possède pas de précisions à ce sujet et on ne peut encore rien dire.

Les conditions préalables de l'exploitation

Nous avons déjà souligné la différence qu'il faut faire entre des *indices* et des *gisements*. Nous répétons que, seuls, de très grands gisements sont susceptibles d'être exploités avec profit.

Les conditions préalables à l'exploitation sont de deux ordres : politiques et financières.

Nous ne voulons pas parler ici des conditions politiques, mais nous sommes bien obligés de les évoquer, car il est bien évident que pas une tonne de minerai ne peut sortir du Sahara si nous n'entretenons pas de relations amicales avec ses riverains.

Ceux-ci se sentent même des appétits de propriétaires depuis les récentes découvertes. Ceci est une affaire de gouvernement.

Les conditions financières se rapportent surtout à la nécessité d'investissements considérables en moyens de transport : pistes automobiles pour camions lourds ou bien voies ferrées et ports d'embarquement. Les additions conduisent à des chiffres dépassant mille milliards.

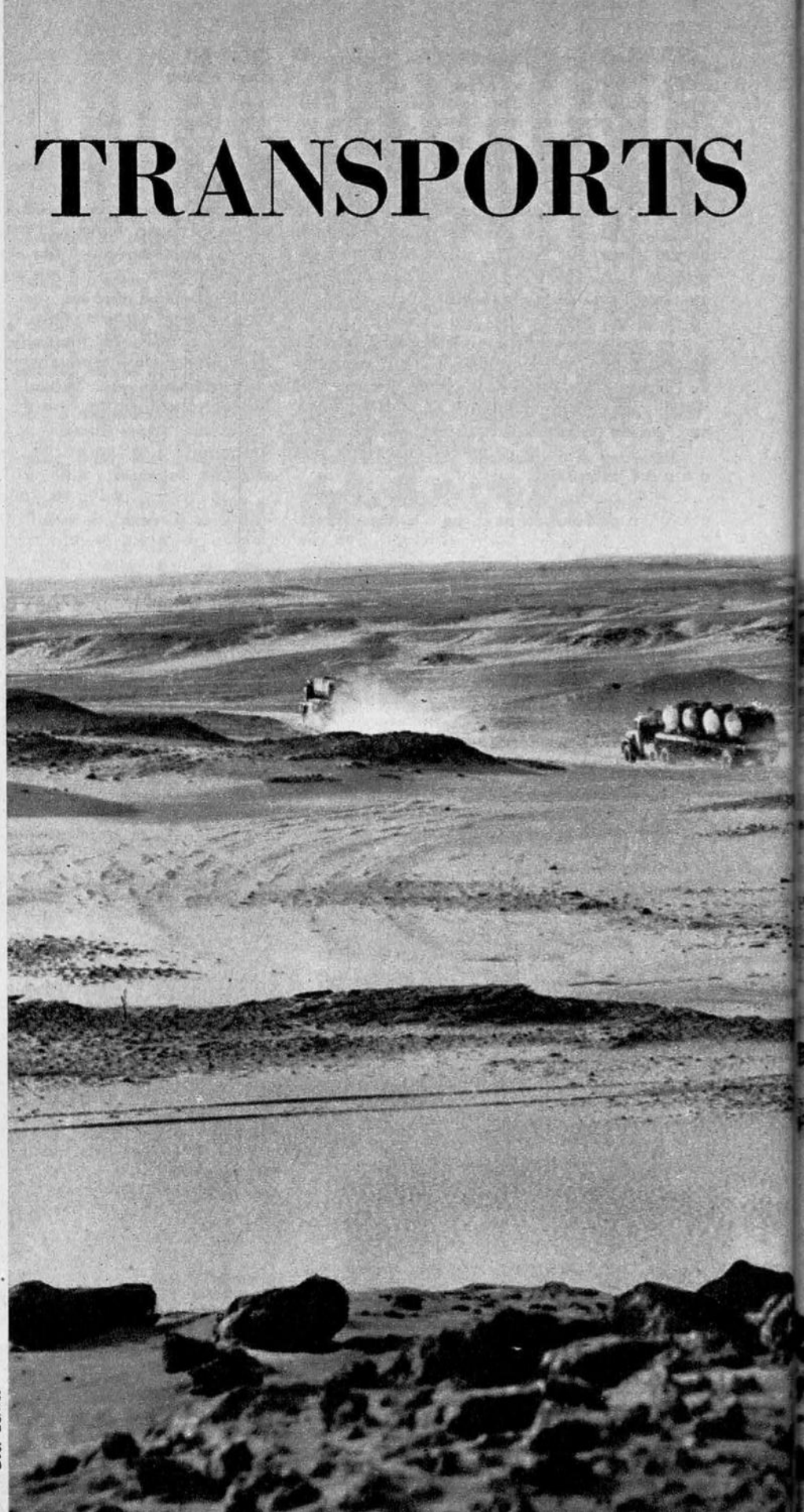
Ces mille milliards peuvent naturellement se trouver à condition que les préalables politiques soient remplis et pourront être réunis sans difficulté majeure dès que les prêteurs de capitaux ne se sentiront plus à la merci d'une guerre, d'une révolte, d'une nationalisation, incidents qui sont toujours de nature à inquiéter le « père de famille » en quête d'un placement.

Raymond FURON
Sous-Directeur au Muséum National d'Histoire Naturelle

Doc. B.I.A.

***LA RECHERCHE DES MINERAIS URANIFÈRES** s'effectue au Sahara avec le concours d'autochtones qui sont initiés ici au maniement du compteur Geiger-Muller.*

TRANSPORTS

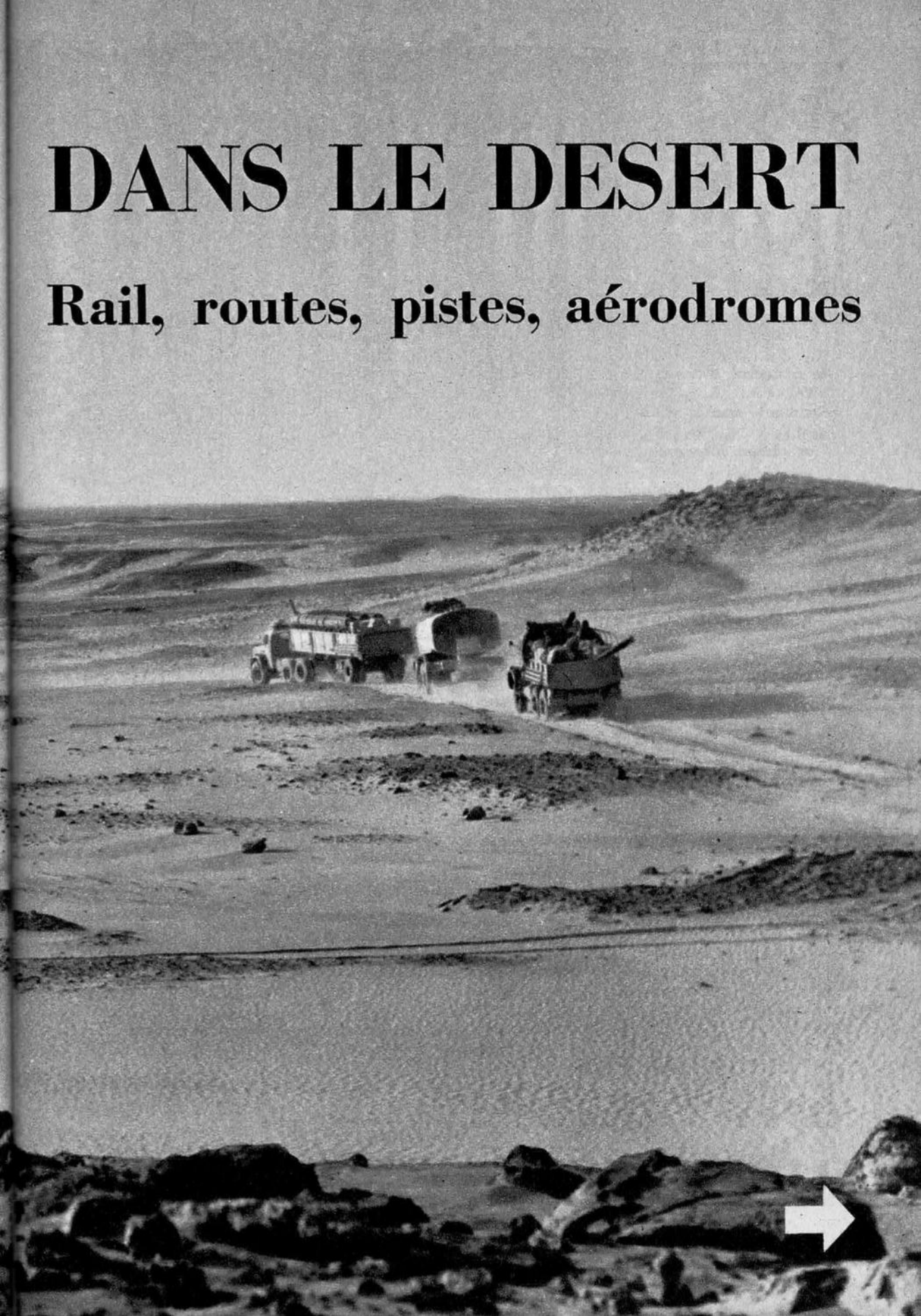


Sur la piste
en direction
d'Edjeleh

Doc. Berliet

DANS LE DESERT

Rail, routes, pistes, aérodromes



VOIES AÉRIENNES ET TERRESTRES ÉVEILLENT LE GRAND DÉSERT

SANS un système de communications bien adapté, les projets de mise en valeur des immensités désertiques sont à l'avance condamnés à l'échec. Jadis, le maréchal Lyautey l'avait remarquablement compris en dotant le Maroc d'un excellent réseau routier et ferré apte à répondre à tous les problèmes posés par l'expansion économique.

Le Sahara a besoin d'animateurs de son envergure pour promouvoir la « civilisation de circulation ». On constate, en effet, en regardant la carte du grand désert, que ce demi-continent de 4 300 000 km², dont on répète volontiers qu'il représente huit fois la superficie de la Métropole, n'offre que les rares fils ténus de quatre pistes millénaires striant du Nord au Sud les immensités sahariennes.

Camions contre caravanes

Dans la plupart des atlas, le Sahara est une tache blanche. Des projets d'industrialisation ambitieux ne s'inscrivent encore qu'en pointillé. Les débuts de réalisation prouvent qu'ils sont raisonnables, à condition d'animer le corps massif de l'Afrique saharienne française en luttant avec succès contre un engourdissement séculaire entretenu par les plus difficiles conditions climatiques, en implantant les rythmes commerciaux, industriels et agricoles du XXe siècle. Il n'est plus possible de se contenter des caravanes désuètes de chameaux, étirées en lents convois au long des mejbed : le chameau porte une charge de 200 kg à la vitesse de 30 km par jour; un camion de 8 t de charge utile fait 30 km à l'heure..., il équivaut à une caravane de 1 000 chameaux.

Il est paradoxal de constater que la France, réputée pour avoir un des plus beaux réseaux de transports terrestres qui soit au monde, a abordé la phase de la mise en valeur systématique du désert sans posséder l'ossature d'un système de communications modernes.

Des disciples de Lesseps et de Lyautey, ingénieurs ou soldats, ont entrepris depuis le XIXe siècle la reconnaissance des itinéraires sahariens, mais la politique des transports au Sahara n'est apparue que l'an dernier, dans un paragraphe de la loi du 10 janvier 1957 relative à la création d'une Organisation Commune des Régions Sahariennes.

Centres d'attraction sahariens

Le texte précise que la politique des transports doit être menée en fonction des programmes généraux de mise en valeur. Ces programmes concernent, soit l'exploitation d'importants gisements — tels que le fer de Gara Djebilet à l'Ouest et le pétrole de Hassi Messaoud à l'Est —, soit l'intensification des échanges entre les zones côtières et les centres d'expansion de l'hinterland : relations du Maroc Oriental et de l'Oranie avec la région de Colomb-Béchar sur les confins algéro-marocains, relations entre le nord-ouest de l'Afrique Blanche et les vastes territoires de l'Afrique Noire bordés par le Niger, relations entre les zones minières et pétrolières sur les confins algéro-tunisiens.

Le Sahara possède près de 30 000 km de pistes, dont la moitié est utilisable pour les transports routiers, 831 km de sections de routes nationales, 492 km de voies ferrées à écartement normal.

Le réseau actuel de communications, déjà limité dans la zone saharienne de l'Algérie, est encore plus précaire dans les zones relevant de l'A.O.F. et de l'A.E.F. Cette insuffisance est aggravée par la position des grands centres d'exploitation minière et pétrolière : de l'Est à l'Ouest, les pôles d'industrialisation forment une auréole jalonnée par les pétroles d'Edjeleh, Tiguentourine et Hassi Messaoud, le gaz de Hassi R'Mel, le charbon et les minerais divers de la zone de Colomb-Béchar, le fer de Gara Djebilet, le fer de Fort-Gouraud et le cuivre d'Akjoujt. Trois autres pôles d'attraction

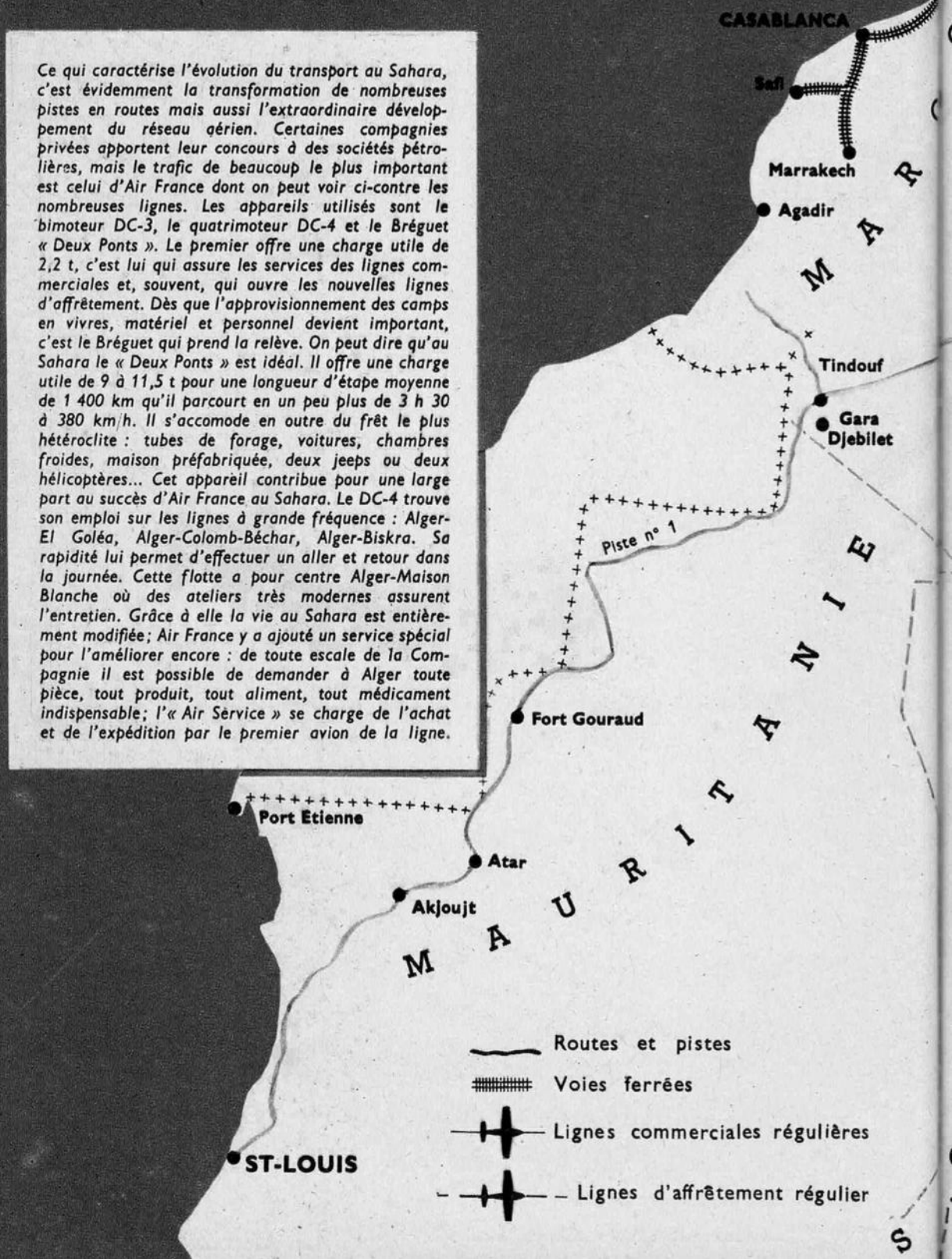
SUITE PAGE 78

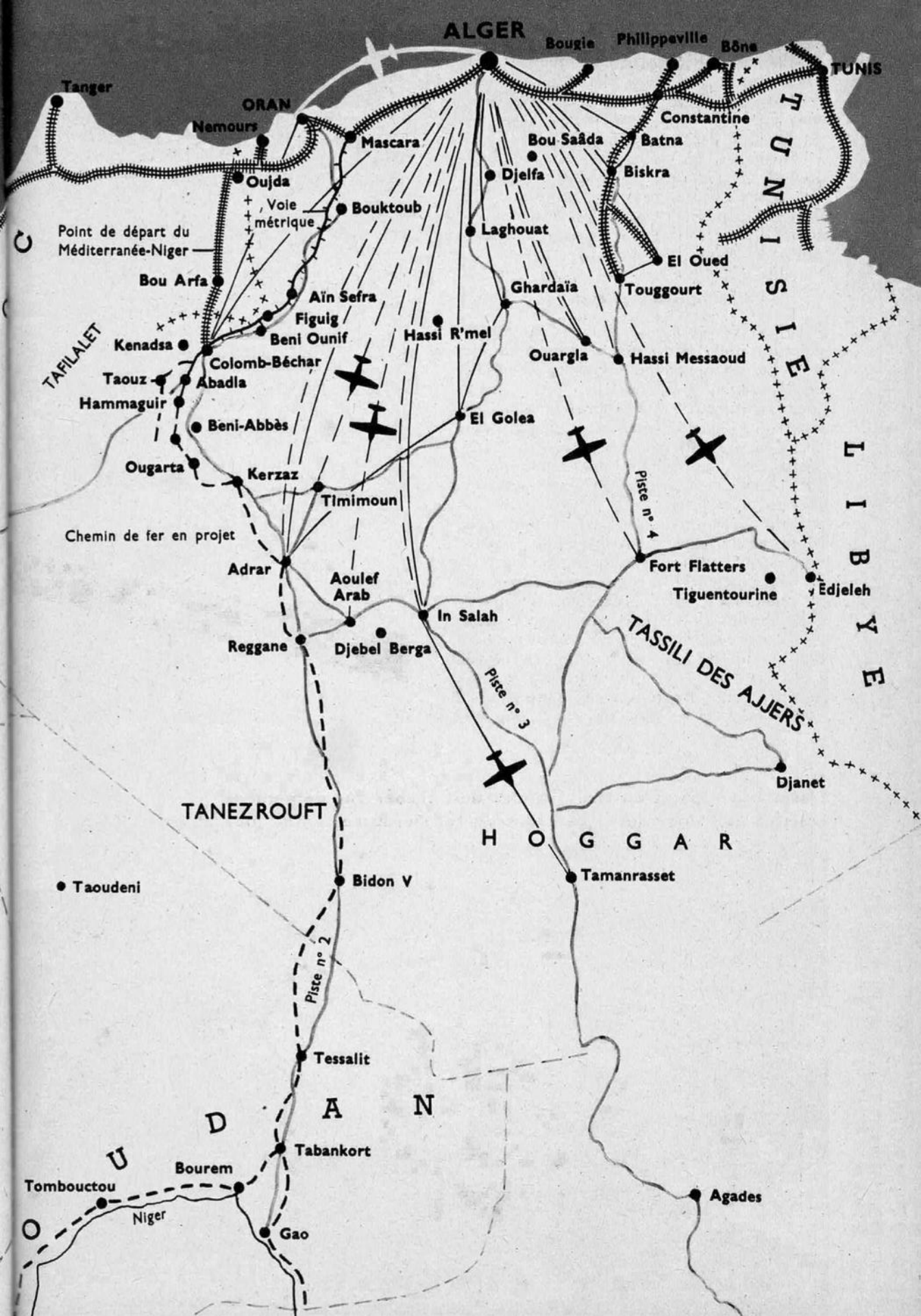
(Doc. Air France)

Un Bréguet Deux-ponts d'Air France, le « Cargo du Désert », survole In-Salah

LIAISONS SAHARIENNES

Ce qui caractérise l'évolution du transport au Sahara, c'est évidemment la transformation de nombreuses pistes en routes mais aussi l'extraordinaire développement du réseau aérien. Certaines compagnies privées apportent leur concours à des sociétés pétrolières, mais le trafic de beaucoup le plus important est celui d'Air France dont on peut voir ci-contre les nombreuses lignes. Les appareils utilisés sont le bimoteur DC-3, le quatrimoteur DC-4 et le Bréguet « Deux Ponts ». Le premier offre une charge utile de 2,2 t, c'est lui qui assure les services des lignes commerciales et, souvent, qui ouvre les nouvelles lignes d'affrêtement. Dès que l'approvisionnement des camps en vivres, matériel et personnel devient important, c'est le Bréguet qui prend la relève. On peut dire qu'au Sahara le « Deux Ponts » est idéal. Il offre une charge utile de 9 à 11,5 t pour une longueur d'étape moyenne de 1 400 km qu'il parcourt en un peu plus de 3 h 30 à 380 km/h. Il s'accomode en outre du frêt le plus hétéroclite : tubes de forage, voitures, chambres froides, maison préfabriquée, deux jeeps ou deux hélicoptères... Cet appareil contribue pour une large part au succès d'Air France au Sahara. Le DC-4 trouve son emploi sur les lignes à grande fréquence : Alger-El Goléa, Alger-Colomb-Béchar, Alger-Biskra. Sa rapidité lui permet d'effectuer un aller et retour dans la journée. Cette flotte a pour centre Alger-Maison Blanche où des ateliers très modernes assurent l'entretien. Grâce à elle la vie au Sahara est entièrement modifiée; Air France y a ajouté un service spécial pour l'améliorer encore : de toute escale de la Compagnie il est possible de demander à Alger toute pièce, tout produit, tout aliment, tout médicament indispensable; l'« Air Service » se charge de l'achat et de l'expédition par le premier avion de la ligne.




ALGER
Bougie
Philippeville
Bône
TUNIS
Tanger
ORAN
Nemours
Mascara
Bou Saâda
Batna
Constantine
Djelfa
Biskra
Oujda
Voie métrique
Bouktoub
Laghouat
Point de départ du Méditerranée-Niger
El Oued
Bou Arfa
Ghardaïa
Touggourt
Aïn Sefra
Figuig
Hassi R'mel
Beni Ounif
Kenadsa
Ouargla
Hassi Messaoud
Colomb-Béchar
TAFILALET
Taouz
Abadla
Hammaguir
El Golea
Beni-Abbès
Ougarta
Kerzaz
Timimoun
Piste n° 4
Chemin de fer en projet
Fort Flatters
Adrar
Aoulef Arab
Tiguentourine
Edjeleh
In Salah
Reggane
Djebel Berga
TASSILI DES AJJERS
Piste n° 3
Djanet
TANEZROUFT
H O G G A R
Taoudeni
Bidon V
Tamanrasset
Piste n° 2
Tessalit
D A N
Tabankort
Bourem
Tombouctou
Agades
Niger
Gao
TUNISIE
LIBYE

SUITE DE LA PAGE 74

forment une auréole concentrique d'Est en Ouest, au cœur du désert : métaux non ferreux du Hoggar, gaz de Djebel Berga et, vraisemblablement, le pétrole en cours de prospection dans la région d'Adrar.

Aucun de ces pôles ne se trouve très éloigné des grands itinéraires traditionnels, mais ils sont tous à plus de 450 km des débouchés côtiers, et les pistes traditionnelles ne sont pas en mesure de supporter un trafic lourd intensif.

Les liaisons aériennes

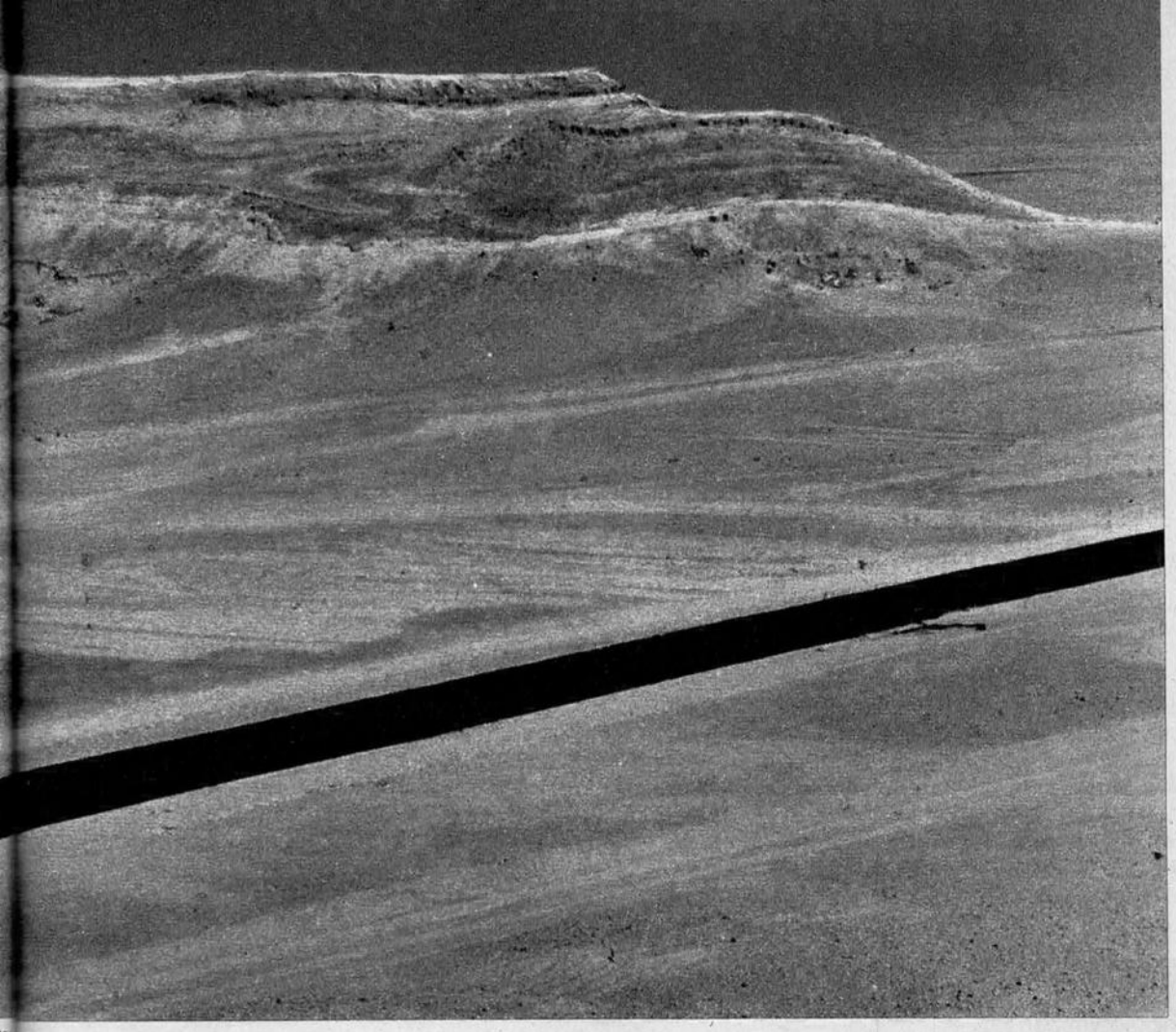
Le Sahara est doté d'une quarantaine d'aérodromes publics qui vont de la simple piste balisée à l'aire d'atterrissage équipée pour appareils gros porteurs, et de nombreux aérodromes privés aménagés par les compagnies de pétrole qui sont propriétaires ou locataires de flottilles d'appareils destinées à assurer, pour leur personnel et leur matériel, des relations constantes et rapides avec Alger.

Dans le cadre de l'activité du nouveau Ministère du Sahara, il est prévu de parfaire l'infrastructure aérienne au sol, tandis que les constructeurs français poursuivent la mise au point d'appareils exactement adaptés aux besoins industriels du désert. Les Dakota et les Ju 52 ont été relevés par des D.C. 3, des D.C. 4, des Noratlas (le Nord 2 502 transporte 5 t de matériel) et des quadrimoteurs Bréguet Deux-ponts d'une charge utile de 17 t ou de 100 passagers.

(Magnum Photo)

L'asphalte réparti en trois bandes doit sécher rapidement et résister aux énormes différences de températures entre jour et nuit

(Magnum Photo)



Au Hoggar, la route asphaltée d'Assakrem tranche sur le sable calciné

Que ce soit pour l'approvisionnement en vivres frais ou pour d'urgents dépannages, l'avion a mérité son titre de « garçon livreur du désert » : Colomb-Béchar est à 7 h de Paris, Tamanrasset à moins de 6 h 30 d'Alger. On fait également appel aux hélicoptères pour les reconnaissances géologiques. Ils accomplissent des missions très spécialisées à 50 m au-dessus du sol, chargés d'instruments de haute précision pour la détection des minerais. Les hélicoptères les plus couramment utilisés sont les SE 3130 Alouette II et les SO 1221 Djinn.

Malgré tant de qualités, le transport aérien ne peut résoudre tous les problèmes de communications. L'avion-cargo existe, mais sa généralisation est limitée par le prix de construction (de 600 à 800 millions de francs), par le coût de la tonne kilométrique (de 80 à 120 francs), par l'obligation de renforcer les installations terrestres afin que les pistes puissent supporter un trafic régulier d'appareils d'une charge de 50 t.

L'automobile : routes et pistes

Moins rapide que la voie aérienne, le transport terrestre est plus économique et possède l'avantage de réaliser une liaison physique constante entre les hommes. Depuis près de 40 ans, le transport automobile n'a cessé d'affirmer son utilité dans le désert.

40 ans de progrès ont été matérialisés par l'évolution de la chenillette au pneu à basse pression, et par des charges allant de moins de 1 000 kg à 100 t.

Tous les grands constructeurs français confrontent leur matériel au banc d'essai saharien. La Société Berliet s'est engagée

encore plus profondément, en établissant une chaîne de montage à Alger et en lançant un mastodonte routier, le T 100 Berliet.

En apparence, les problèmes techniques routiers sont résolus puisque la France est en mesure de construire du matériel lourd et des pistes. A l'expérience, on a dû malheureusement constater qu'en franchissant un nouveau stade de développement, le transport routier se heurtait à des obstacles du même ordre que ceux qui freinent l'extension du transport aérien. Le climat, l'éloignement des centres de ravitaillement, la pénurie d'eau, les sols friables où le camion s'enfonce dans le fech-fech, sont de lourds handicaps naturels pour la tenue des chaussées et la longévité des machines. Ces inconvénients deviennent beaucoup plus sensibles lorsque le trafic est intense avec des camions dont la charge tend à passer du seuil réglementaire de 13 t à l'essieu à celui de 20 t. Ce progrès permet cependant d'envisager l'abaissement notable du coût de la tonne kilométrique. On mesurera l'importance de la question en observant que les sociétés de recherche font 90 % de leur trafic par camions et consacrent au moins 25 % de leurs dépenses aux frais de transport. Mais tant qu'une solution n'aura pas été trouvée aux problèmes de l'affaissement des chaussées, il paraît hasardeux de développer simultanément la charge utile et le rythme de trafic des camions lourds. Dans l'état actuel des choses, les Pouvoirs publics, chargés de financer, d'aménager et d'entretenir les grands itinéraires, doivent envisager un accroissement d'au moins 25 % des dépenses de construction, ou courir le risque de dilapider les investissements routiers exécutés ou prévus. Au Sahara, la construction du kilomètre de route coûte jusqu'à 20 millions de francs, selon le type d'aménagement retenu. On en vient à se poser la question de savoir s'il ne conviendra pas de limiter provisoirement le développement des voies modernes du style de nos routes nationales métropolitaines. Une politique de développement des pistes semble économiquement plus rentable.

L'avenir du transport routier

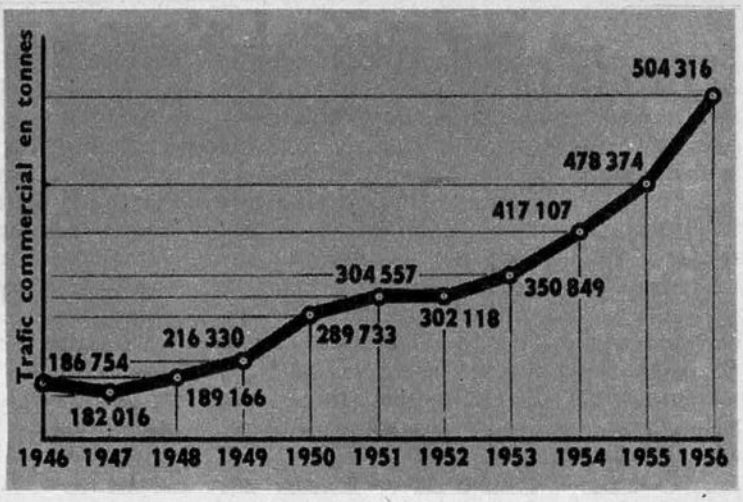
Le transport routier est promis au plus bel avenir : l'équipement des complexes pétroliers et industriels garantit un fret important aux entreprises de transport; dès maintenant celles-ci passent aux constructeurs français des commandes portant sur plusieurs centaines de camions.

Cl. Mer-Niger

***LE TRAIN MIXTE VOYAGEURS-MARCHANDISES** d'Abadla au P.K 26 (palmeraie du Neb-Kat). Le réseau du Méditerranée-Niger (qui ne dépasse pas Abadla, à 90 km au sud de Colomb-Béchar) a une infrastructure simplifiée mais techniquement très moderne, avec un trafic annuel de 500 000 t, surtout marchandises.*

Évolution du trafic du Méditerranée - Niger

Cette évolution ne porte que sur le tonnage des marchandises transportées entre 1946 et 1956. Le trafic voyageurs est en effet très faible par rapport à celui des marchandises, en particulier des pondéreux.



Au delà des solutions classiques, on envisage d'utiliser les trains routiers d'une capacité de 150 t et plus, bénéficiant de la même souplesse d'action que tous les autres véhicules automobiles sans être pour autant asservis aux exigences de la piste ou de la route, et déjà utilisés avec succès dans les zones désertiques de l'Australie et de l'Amérique du Nord.

Les pistes sahariennes

Le déséquilibre entre les véhicules — en nombre et en tonnage — et le réseau de routes et de pistes ressort de l'état et de la répartition géographique des grandes pistes sahariennes. Elles sont au nombre de quatre, du Nord au Sud. Il n'existe pas encore de grands transversales.

— Piste n° 1 (Mauritanie), 2 000 km, de la région d'Agadir (Maroc) à St-Louis (Sénégal). Son utilité est soulignée par la présence d'importants gisements sur le parcours (fer de Tindouf et de Fort-Gouraud, cuivre d'Akjoujt) et par la liaison avec Dakar;

— Piste n° 2 (Tanezrouft), 2 100 km, de la zone d'organisation industrielle de Colomb-Béchar à Gao, porte de l'Afrique Noire, sur le Niger;

— Piste n° 3 (Hoggar). Longue de plus de 3 000 km, et de qualité très inégale, elle part de Laghouat, traverse les zones pétrolières de Ghardaïa et d'In-Salah et la zone très accidentée du massif du Hoggar à Tamanrasset avant d'aboutir à Agadès;

— Piste n° 4 (Ajjers et Tibesti), 4 900 km, de Biskra à Fort-Lamy (Tchad). Cet itinéraire encore très précaire est en voie de réaménagement. Il présente depuis quelque temps un intérêt majeur : desserte des riches gisements de pétrole d'Hassi Messaoud et d'Edjeleh, renforcement du contrôle sur la longue frontière désertique de la Libye.

Sur la frange nord, on procède au bitumage progressif de plusieurs tronçons de pistes : route de 350 km, de Biskra à Touggourt, achevée en 1956; route Alger-Shardaïa, achevée en 1952, en cours de prolongation vers El Goléa; route de Ghardaïa à Ouargla, Hassi Messaoud et Fort-Flatters; route de 700 km, entre Oran et Colomb-Béchar par Mascara, Saïda, Bouktoub, Aïn-Sefra et Beni-Ounif. L'ensemble des améliorations en cours porte sur 1 400 km. D'autres améliorations sont envisagées à l'Ouest entre la région minière du Tafilalet, Taouz et Colomb-Béchar, sur les confins algéro-marocains, dans le Tanezrouft sur le tracé Reggan, Taoudéni, Tombouctou, sur l'amorce de la transversale nord Aïn-Sefra, Bou-Saada, Biskra, sur les grandes pistes Nord-Sud nos 1 et 2.

Le premier plan triennal représente une dépense de l'ordre de 31 milliards de francs.

Les problèmes routiers sahariens relèvent du service des Ponts et Chaussées, du Génie Saharien et du réseau des Chemins de Fer de la Méditerranée au Niger qui joue en l'occurrence un rôle coordinateur. En effet, il ajoute à ses responsabilités ferroviaires celles de l'entretien de plusieurs pistes (au total 4 000 km) dont la grande piste n° 2 Colomb-Béchar-Gao.

Cette année l'O.C.R.S. consacrera 4,5 milliards de francs à la poursuite des travaux d'aménagement de l'infrastructure.

Le chemin de fer

Le Sahara est très mal doté en voies ferrées. Plusieurs lignes de chemins de fer à

voie étroite construites autrefois dans le cadre de la politique de pacification partent de la dorsale côtière pour desservir l'arrière-pays. Certaines sont des chefs-d'œuvre de la technique ferroviaire, mais deux seulement ont un rôle économique important parce qu'elles sont à écartement normal (1,44 m), et parce qu'elles pénètrent dans la zone saharienne proprement dite.

A l'Est, afin d'activer l'évacuation du pétrole d'Hassi Messaoud, la ligne étroite de Biskra à Touggourt a été mise à écartement normal sur une longueur de 217 km. Son intérêt sera moindre quand le pipeline définitif aura été posé.

A l'Ouest, le chemin de fer à voie normale est implanté de longue date. Sur les confins algéro-marocains, une voie ferrée minière avait été mise en service entre Oujda et Bou-Arfa en 1931, afin de desservir le centre minier de manganèse de Bou-Arfa.

En 1939, il fut décidé de prolonger le rail vers Kenadsa et Colomb-Béchar afin d'exploiter plus rationnellement les gisements de houille. Le projet de construction prévoyait même l'extension de la ligne jusqu'à Gao, sur les rives du Niger.

Le Méditerranée-Niger

Les circonstances économiques de l'après-guerre ont mis en sommeil la réalisation totale, mais, en 1947, le réseau des Chemins de Fer de la Méditerranée au Niger exploitait régulièrement 618 km de rail entre le port algérien de Nemours, au nord d'Oujda, et Abadla, à 90 km au sud de Colomb-Béchar. Le tronçon proprement saharien est long de 275 km (Bou-Arfa - Abadla).

Le réseau dispose actuellement d'une infrastructure simplifiée, afin d'éliminer les dépenses somptuaires, mais techniquement très moderne : autorails rapides, locomotives diesel-électriques, régulation par téléphone et par radio.

Son trafic commercial annuel, de l'ordre de 500 000 t, n'a cessé de croître depuis 1946. Il est constitué à 80 % par des pondéreux. Il est freiné moins par les difficultés inhérentes à l'état actuel d'insécurité que par les fluctuations du marché charbonnier. Cependant le chemin de fer, justifié à l'origine à la fois par l'exploitation minière et par les découvertes qu'il a facilitées dans sa zone d'influence, est devenu un instrument précieux pour tous les transports commerciaux massifs.

L'ampleur de ses tâches est soulignée par le développement des relations entre le port d'Oran et Colomb-Béchar « pointe avancée de la civilisation dans le désert », selon l'expression de M. Louis Armand, ancien président du Bureau Industriel Africain. C'est pourquoi il est aujourd'hui question de renforcer les relations entre l'Oranie et la région de Colomb-Béchar par la construction d'un tronçon entre Aïn-Témouchent et Marnia, selon un tracé direct qui assurerait une relation plus courte.

Un autre projet préconise la mise à écartement normal de la ligne à voie étroite qui va de Perregaux à Colomb-Béchar. Cette ligne, longue de 760 km ne peut supporter qu'un trafic limité. Son réaménagement se heurte à de sérieux obstacles dus au profil, mais la dépense pourrait trouver sa justification politique, la ligne étant constamment en terre française.

L'extension du rail vers le Sud

Le Méditerranée-Niger, sera-t-il ou non prolongé vers le Sud ?

Les plans d'extension sont de deux types selon qu'ils concernent le cadre régional ou le prolongement vers l'Afrique Noire.

L'étude de la mise en exploitation des ressources en manganèse du Djebel Guettara a donné lieu à une confrontation entre le projet d'établissement d'une piste ou d'une route et celui de la construction d'une voie ferrée. Le Méditerranée-Niger a présenté un projet portant sur la construction de 270 km de voies ferrées destinées simultanément à l'évacuation du manganèse du Djebel Guettara, du fer et du plomb de la zone algéro-marocaine de Taouz-M'Fis, et à la desserte du vaste Centre Inter-armes d'Essai d'Engins Téléguidés de Hammaguir.

Un projet plus ambitieux, mais dont la justification économique et financière est encore incertaine, prévoit l'écavuation vers Colomb-Béchar du minerai de fer de Tindouf, ce qui suppose le transport de tout ou partie des 10 millions de tonnes de minerai de fer qui seront extraites chaque année, sur une distance de 1 200 km. Ce projet ne semble pouvoir être retenu que si l'évacuation du fer de Tindouf par l'Atlantique se heurte à de trop graves obstacles politiques. En effet, l'évacuation vers Colomb-Béchar fait plus que doubler la longueur du trajet étudié vers l'Atlantique.

On attache beaucoup plus d'intérêt au renouveau d'actualité du projet d'extension vers le Sud. En 1953, l'Assemblée de l'Union Française avait émis le vœu que soient construits 525 km de voies ferrées d'Abadla à Adrar. Cette initiative pourrait être reprise

à la suite des résultats encourageants des prospections pétrolières dans cette région, sans omettre l'intérêt présenté par les ressources en fer du massif de l'Ougarta et par l'épanouissement économique des oasis.

Quant à la liaison de bout en bout, Abadla - Gao, en considération des programmes d'exploitation industrielle du Sahara et de l'éveil économique des « pays neufs » de l'Afrique Occidentale Française intérieure, le projet apparaît aujourd'hui sous un angle nouveau.

Si l'on considère que le Soudan et le Niger ont un énorme cheptel à valoriser (dont plus de 5 millions de têtes de bovins), manquent d'ouvertures sur l'extérieur pour développer les circuits d'échanges à des taux qui ne soient plus prohibitifs, tandis que l'Algérie est chroniquement menacée par la sous-alimentation, le vieux projet transsaharien mérite à tous égards son regain d'actualité.

La valorisation du Sahara

D'autres tracés de voies ferrées s'inspirent de l'expérience du Méditerranée - Niger. Ils sont l'accessoire obligé des exploitations minières en projet afin d'évacuer les richesses minérales vers la côte atlantique à l'Ouest. L'évacuation du fer de Tindouf est envisagée sur un port qui devra être construit de toutes pièces au sud d'Agadir; quant au fer de Fort-Gouraud et au cuivre d'Akjoujt, ils seront acheminés vers Port-Étienne à moins qu'un accord avec l'Espagne permette d'acheminer les produits à travers le Rio de Oro, sur Villa Cisneros.

La valorisation du Sahara est une magnifique promesse en voie de réalisation. D'ici cinq ans, le désert doit nous fournir annuellement 16 millions de tonnes de pétrole, plus de 10 millions de tonnes de fer, du gaz naturel, du cuivre, du manganèse, de l'uranium. Dans le même temps, il faudra achever de gigantesques exploitations minières et industrielles, améliorer les conditions de vie de 1 700 000 autochtones.

Dès maintenant, de Colomb-Béchar à Hassi Messaoud et de Laghouat à Tamanrasset, une intense activité humaine prélude à l'éveil complet du Sahara. Une harmonieuse politique des transports s'impose.

Le Sahara est devenu le point de mire d'intérêts mondiaux. En donnant la priorité aux communications, nous prouverons notre aptitude à développer sa prospérité tout en justifiant notre maîtrise sur un morceau de continent durement disputé.

Gilbert MAUREL
Conseiller technique du Méditerranée-Niger

Cl. Mer-Niger

« La route Impériale » entre Colomb-Béchar et Gao

LE VÉHICULE SAHARIEN DOIT SE SPÉCIALISER

LES difficultés de la circulation automobile au Sahara n'ont pas besoin d'être soulignées. Depuis les premières tentatives de pénétration dans le désert des engins mécaniques, elles ont fait l'objet d'études nombreuses. Chaque sortie d'un véhicule nouveau plus ou moins spécialisé s'accompagne de démonstrations impressionnantes, mais ce n'est pas tellement, à notre avis, aux possibilités instantanées d'un matériel inédit qu'il faut s'attacher pour juger de l'intérêt d'une réalisation, qu'aux solutions qu'elle retient pour s'adapter aux conditions physiques exceptionnelles et variées rencontrées dans les territoires désertiques.

Il n'est cependant pas nécessaire, pour circuler au Sahara, de posséder un véhicule spécial. Nous assistons périodiquement à des traversées du désert par des voitures absolument normales, qui ne rencontrent pas de difficultés particulières et rivalisent même souvent pour établir des records de vitesse. Est-ce dire que toutes les voitures conviennent au Sahara ? Assurément non, et c'est dans la possibilité de répétition de ces voyages difficiles, dans l'aptitude à assurer régulièrement une mission dans les plus dures conditions que se juge la valeur d'un véhicule nécessairement spécialisé. Le problème général est très complexe et touche aux rouages les plus cachés de la mécanique.

Diversité des sols

Le sol saharien n'est pas uniquement constitué de sable, loin de là. La progression dans les ergs, ces régions sablonneuses, présente les difficultés les plus grandes, mais les pistes offrent des aspects très divers qui vont de la belle route goudronnée au champ de pierres dans le reg en passant par le fech-fech, sorte de sable pulvérulent, et la « tôle ondulée » dont les réactions soumettent le matériel à dure épreuve. Un pneumatique « saharien » doit pouvoir se jouer également de toutes ces difficultés et accomplir un kilométrage raisonnable avant d'être mis hors d'usage.

Il y a trente ans, les expéditions de Citroën tendaient à démontrer les avantages de la chenille à laquelle on accordait alors un avenir prometteur qui ne s'est pas confirmé. L'accord s'est fait aujourd'hui unanimement sur la formule du véhicule à roues multiples avec pneus à basse pression.

Le pneu

On pourrait définir le pneumatique idéal, convenant à toutes les variétés de sols, comme celui où la pression exercée sur le sol serait égale à la pression de gonflage, c'est-à-dire dont l'enveloppe serait ultra-légère et intégralement souple. On imaginerait ainsi volontiers une simple chambre à air assez résistante pour supporter les obstacles de la piste.

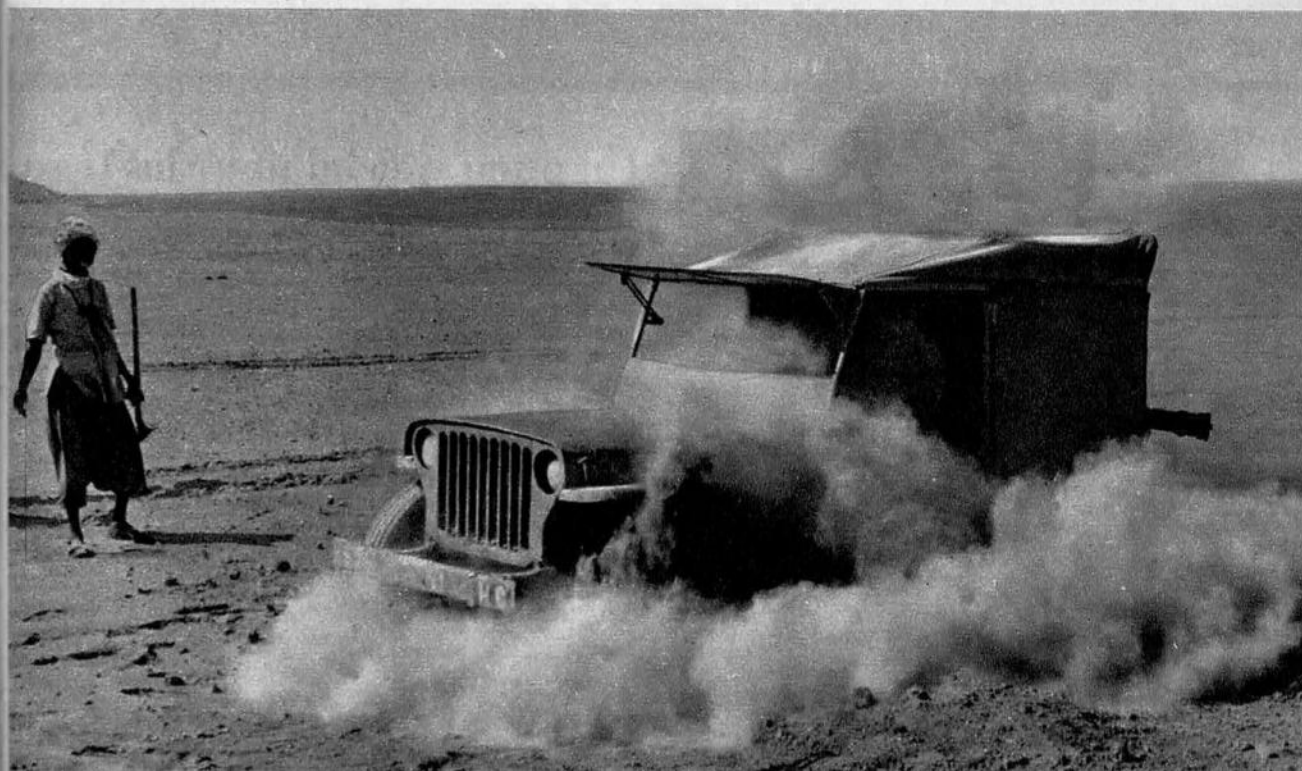
Un pneumatique d'emploi courant au Sahara, d'un diamètre de 170 cm, a une surface de contact avec le sol de 4 000 cm². Pour réaliser l'égalité des pressions préconisée ci-dessus, il sera nécessaire, pour une charge de 7 tonnes, de la gonfler à 1,7 kg.

Un pneu de technique normale, sous cette charge et avec une pression ramenée à une telle valeur, serait rapidement détruit. Les pneus sont en effet constitués de plis dont les trames sont croisées et qui forment son armature. Si la pression est insuffisante, c'est cette armature qui plie sous la charge, ce pour quoi elle n'est pas faite. Il faut reconnaître que les nouvelles toiles à base de nylon, plus fines et plus résistantes peuvent à la rigueur supporter un fonctionnement à très basse pression, sans toutefois que

Le sable, ennemi n° 1

Dès que l'on sort des pistes, c'est l'enlisement, souvent jusqu'aux essieux, qui guette les véhicules. Sur les pistes mêmes, le sable entraîné par le vent ou par les roues n'est pas moins dangereux pour les organes des moteurs que des filtres spéciaux doivent protéger.

Ph. Nougarède-C.R.E.P.S.



Containers roulants

Le transport des liquides en terrain varié a été résolu ici d'une manière originale qui pourrait convenir au Sahara. Dans cet attelage, chacun des pneus mis au point par Goodyear, de 1 m de largeur et 1,5 m de haut peut contenir 1 800 l d'eau ou d'autre liquide.

celle-ci descende à la valeur d'équilibre des pressions au sol et de gonflage.

Plus récemment sont apparus les pneumatiques spéciaux d'une conception toute nouvelle où les arceaux remplacent les plis à raison d'une couche d'arceaux pour quatre ou cinq plis. Cinq nappes d'arceaux ont ainsi une résistance égale à celle de vingt-cinq plis et, comme ils sont prévus pour de grandes flexions, la pression de gonflage peut se rapprocher de la faible pression admissible au sol.

Le pneu basse pression qui permet de circuler sur les sols meubles amoindrit également les chocs et les efforts qui en résultent. Une roue chargée à 7 tonnes et qui passe un obstacle de 7 cm à 30 km/h déterminera, si le pneu est gonflé à 7 kg, un effet de choc sensiblement double de celui qui se manifeste avec un pneu gonflé seulement à 1,7 kg. Naturellement, plus le diamètre de la roue sera grand et plus le choc sera atténué. Il faut enfin ajouter que la forme même de la bande de roulement n'est pas sans importance; on a remarqué que les bandages larges comportant un enfoncement central jouant un peu le rôle de ventouse, rappelant en somme le pied du chameau, favoriseraient le bon comportement sur le sable.

Cette nouvelle technique a conduit à la création de pneus de très grand diamètre et de gros boudin, qui, à leur tour, ont déterminé la réalisation de véhicules spéciaux dont les voies et les empattements sont compatibles avec leurs énormes dimensions.

Les filtres

On se souviendra sans doute des opérations conduites dans le désert pendant la dernière guerre mondiale par les Britanniques. Leurs succès sont à rapporter pour une part importante au fait que leurs véhi-

Un pneu spécial pour les tran

ON voit à gauche le premier pneu spécifiquement saharien, qui doit éviter l'ensablement, même dans le sable pourri sans consistance du fech-fech et résister aux épreuves des pistes caillouteuses, le tout malgré les très fortes chaleurs qui peuvent dépasser 50° à l'ombre. Il s'agit d'un pneu poids lourd, de la famille des X-Michelin, c'est-à-dire que sa bande de roulement est stabilisée par plusieurs nappes de fil d'acier. Mais sa carcasse, au lieu d'avoir 12 à 24 nappes textiles à fils croisés ne comporte qu'une seule nappe de fils d'acier disposés en arceaux droits. Cette nappe unique rend le pneu très souple, les flexions engendrent moins de chaleur et celle-ci est évacuée plus rapidement. Le pneu est large et à très basse pression, condition indispensable au Sahara pour éviter l'ensablement. L'idéal, pour les sols sableux,

cules étaient plus généreusement équipés en filtres d'alimentation que ceux de leurs adversaires. Ce problème est des plus important pour l'équipement saharien.

Le sable est certainement un ennemi redoutable de la mécanique. La silice vient à bout des matériaux les plus durs et le filtrage de l'air comburant est une opération à laquelle on ne saurait accorder trop d'attention.

Le plus souvent, les véhicules destinés à circuler sur les pistes désertiques sont équipés de plusieurs filtres en série. Il en existe de plusieurs types, dont deux sont les plus fréquemment utilisés. Les uns comportent des toiles très serrées, particulièrement de nylon qui rend de grands services par son efficacité et sa longévité. Les autres font appel à la force centrifuge qui sépare de l'air les particules abrasives plus denses dans des chicanes circulaires.

On opère généralement deux filtrations en série : une première mécanique qui élimine les particules de fort calibre par la force centrifuge; une seconde qui fait intervenir des filtres très fins.

En ce qui concerne la partie graissage, il est difficile, comme sur les voitures de série, de laisser un reniflard en communication directe avec l'air ambiant. On peut établir un circuit étanche en dirigeant vers l'admission et, bien souvent, dans le con-

sports à travers le Sahara

serait de n'avoir aucun relief susceptible de creuser le sol au moindre patinage, tandis que sur sol caillouteux il faut des sculptures suffisantes pour accrocher le sol et protéger le pneu contre les chocs. Le pneu saharien, grâce à son architecture spéciale, s'étale sur le sable, sans le creuser. Il se déroule sur sa surface sans le mordre, à la façon d'une chenillette, comme le montre la figure de droite où l'on voit la trace nette laissée par son passage sur du sable pourri. On pouvait ainsi adapter une structure en relief en forme de damier. Elle est formée de gros patins en relief dépourvus de toute arête vive, ce qui permet une très bonne articulation de la bande de roulement. Grâce à l'emploi de l'acier, ces pneus souples et à très basse pression sont très résistants à l'usure et conviennent aux véhicules les plus lourds : Willème, Berliet...

duit qui va du filtre à air à l'entrée de la culasse, ce qui peut sortir du reniflard d'huile. Les pulsations qui existent d'ordinaire à la sortie des reniflards et qui font réaspirer une partie de ce qui vient d'être craché, ne peuvent avec cette disposition mêler des particules abrasives aux gaz d'huile réaspirés.

On souhaite très souvent enfin, pour le circuit de graissage, une prise d'huile dans le carter qui suive très exactement le niveau de cette huile dans les cahots. Une prise flottante serait la solution, mais on lui reproche souvent de rester coincée lorsque l'usure est importante.

Naturellement, un graissage à carter sec avec une grande quantité d'huile en circulation est la disposition la plus souhaitable, mais elle n'est encore le fait que de mécaniques d'exception.

La puissance

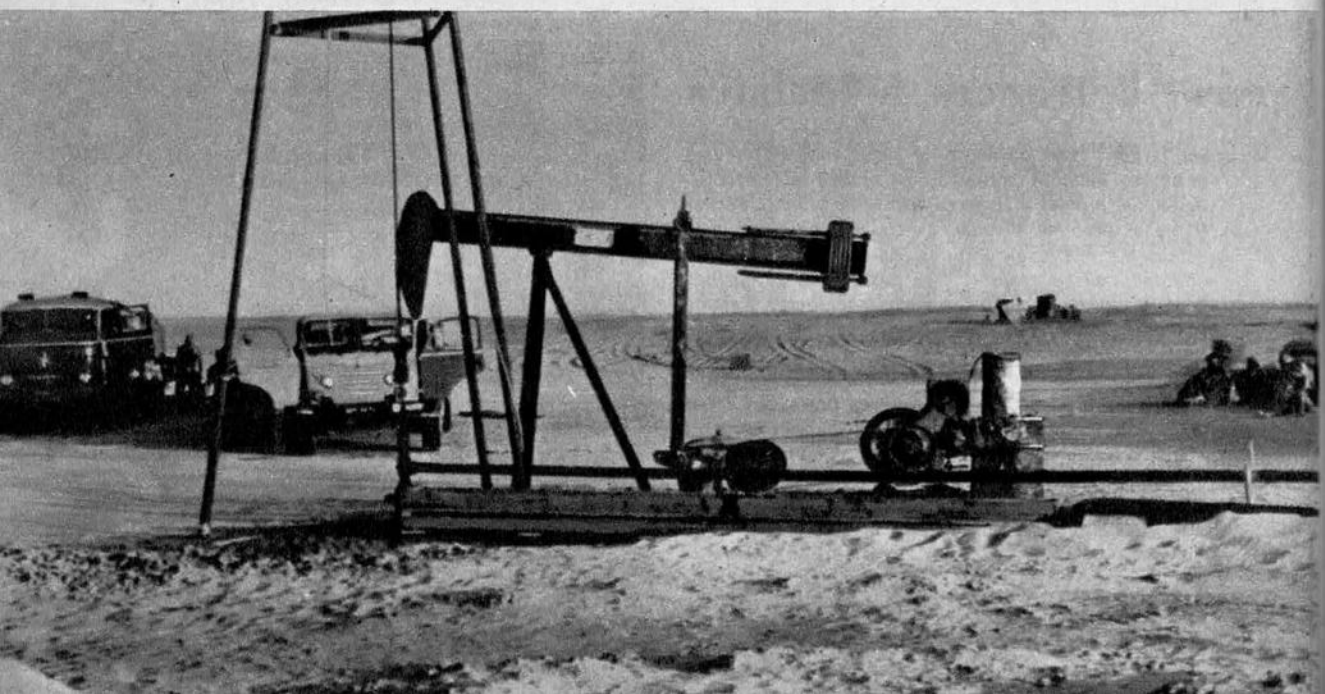
Le filtrage poussé de l'air d'alimentation n'est cependant pas la seule caractéristique des véhicules spécialisés pour les transports dans les régions désertiques. Ils doivent en particulier disposer d'une puissance élevée. On peut en effet comparer la traversée d'un espace ensablé à une longue montée. La solution évidente est la combinaison d'un moteur surpuissant et d'une ou mieux de deux boîtes de vitesses bien adaptées aux conditions rencontrées. Le surcroît de puissance ne doit en aucun cas pouvoir être utilisé pour rouler à trop grande allure, ce à quoi les conducteurs ne sont que trop tentés dans de longues étapes sur des pistes désertes. Il est destiné avant tout à augmenter la souplesse générale et à éviter un usage exagéré de la boîte de vitesses.

Mais l'utilisation même de cette puissance à la disposition du conducteur complique l'organisation générale du véhicule spécial, car ce dernier, prévu pour assurer un service continu en territoire saharien, devra pouvoir rouler à pleine charge et à faible allure. Pleine charge signifie pleine puissance, et faible allure signifie dissipation difficile de la chaleur. D'ailleurs, toute question de charge mise à part, le fait de « respirer » de l'air ambiant à plus de 50° implique pour un moteur une température anormalement haute.

C'est pourquoi les utilisateurs de ces véhicules spéciaux attachent une grande importance à la surface des radiateurs. Il existe en effet plusieurs façons de refroidir l'eau d'un moteur; un radiateur pourra avoir une surface moyenne et être très profond, ou bien être peu profond et de grande surface. C'est cette dernière solution qui devra être retenue dans le cas qui nous intéresse, car les radiateurs de grande profondeur ne peuvent travailler normalement,

Camions-citernes venant faire le plein d'eau

Au début des travaux de recherche pétrolière entrepris à Edjeleh, un des problèmes les plus difficiles à résoudre était celui de l'approvisionnement en eau, nécessaire non seulement pour les besoins du personnel, mais pour l'exécution même des forages. Dans les débuts, cette eau devait être transportée par des camions-citernes de



les secondes nappes de tubes recevant alors de l'air déjà trop chaud. Les constructeurs américains qui réalisent des matériels spéciaux pour les régions désertiques surchauffées donnent à leurs radiateurs des surfaces doubles de celle qu'utilise le même moteur en fonctionnement normal.

Le refroidissement

Le volant d'eau doit aussi être bien supérieur, et on conçoit aisément que le bon fonctionnement du circuit de refroidissement, et en particulier des pompes de circulation, prenne dans le désert une importance capitale, les risques de fuite devant être réduits au minimum. Ce qu'on est convenu d'appeler les « durites », qui relient des points fixes à des points mobiles dans les systèmes de circulation d'eau, devront être à toute épreuve et constamment vérifiées.

L'emploi de radiateurs de grande surface frontale entraîne celui de ventilateurs de grand diamètre. C'est eux qui, aux basses allures, seront chargés d'entraîner l'air à travers le radiateur. Ils absorbent en général plus de 10 % de la puissance du moteur; une telle dépense de puissance pour un organe auxiliaire est couramment admise par beaucoup de constructeurs.

Le refroidissement par air a des adeptes très nombreux. Mais qui dit refroidissement par air dit inévitablement turbines et ventilateurs.

Il existe cependant un autre système faisant intervenir les gaz d'échappement dans des trompes qui se chargent de faire circuler l'air de refroidissement sur les cylindres munis d'ailettes ou dans des gaines avec un radiateur classique. Ce dispositif a le grand mérite de ne pas prélever de puissance sur l'arbre moteur pour l'entraînement des turbines ou ventilateurs et de réaliser un refroidissement strictement proportionnel à la puissance développée.

On estime généralement que la puissance économisée est de 10 %, et une vingtaine de chevaux rétablis sur l'arbre d'un moteur qui en a déjà 200 est une récupération très intéressante.

Toute une série de sécurités avertiront le conducteur d'une anomalie dans le fonctionnement du moteur par suite de la surcharge ou de la température. Les manocontacts et thermocontacts donnent des indications précieuses, mais il est utile, lorsque la conduite est confiée à un personnel indigène non averti des servitudes de la technique, de prévoir des sécurités plus « actives ». On cite, par exemple, le cas de ce chef de dépôt de matériel automobile lourd qui avait conçu, non pas une sécurité lumineuse ou sonore pour avertir de l'ébullition, mais une prolongation du tube de trop-plein pour amener sous les pieds

au puits de Ohanet à 180 km d'Edjeleh

l'oasis de Fort-Flatters, ce qui représentait 430 km de piste. La principale ressource en eau se trouve actuellement à Ohanet, sur la piste de Fort-Flatters à Edjeleh, où a été installé en particulier un pompage permanent. La pompe ci-dessous est actionnée par un moteur à essence que les camions ravitaillent à leur passage.

Doc. Henschel

Des cailloux du reg aux dunes des ergs

Le Sahara n'est pas, comme on l'imagine trop souvent à tort, un simple désert de sable. C'est du reste ce qui complique énormément la tâche des constructeurs qui doivent concevoir des véhicules tous-terrains capables d'affronter aussi bien le sable et ses traîtrises que les arêtes tranchantes des pierres qui couvrent les plateaux caillouteux parfois sur plusieurs centaines de kilomètres. Ici une Land Rover est aux prises avec le reg; à droite, une jeep Hotchkiss et un camion Dodge descendent une dune de près de 45 degrés.

Doc. Shell

du conducteur la vapeur due à son manque d'attention.

Les installations de dispositifs spéciaux ne s'arrêtent pas là. L'alimentation en carburant pose, à cause de la chaleur, de sérieux problèmes dont le « vapor lock » est l'une des manifestations. On préconise dans ce cas de placer deux pompes aussi bas que possible; l'une mécanique, l'autre électrique et commençant à débiter avant que le moteur soit en route.

On souhaite enfin voir du matériel étanche dans ses moindres recoins. Les puits de bougie sont des niches à sable qu'il faut protéger par des écrans étanches pour éviter l'admission éventuelle de sable à l'intérieur du cylindre en cas de démontage d'une bougie.

On estime actuellement que, dans les conditions de travail normal, il faut une puissance minimum de 10 ch par tonne. Pour un ensemble de 25 tonnes, il faut donc une puissance de 250 ch; c'est effectivement la valeur que l'on trouve généralement sur le plus récent matériel.

Camion ou semi-remorque

Quant à l'organisation même de ce matériel lourd, la technique est loin d'être stabilisée; une foule de solutions s'opposent encore en visant toutes au même résultat. Il en est ainsi du nombre total de roues et de la proportion de roues motrices. Le choix varie entre le camion autonome et le tracteur avec sa semi-remorque entre lesquels se partagent aussi bien les constructeurs que les utilisateurs. Châssis rigides ou souples, différentiels normaux ou verrouillables sont encore des sujets de discussion.

Il faut observer que, si la France marque des points dans le domaine des pneumatiques, en particulier grâce aux pneus spécialement conçus pour le Sahara, le matériel français demeure très classique; c'est parmi les réalisations étrangères que l'on trouve les solutions neuves, comme les suspensions à ressorts hélicoïdaux pour gros porteurs, auxquelles on reconnaît un guidage plus efficace des essieux. C'est aussi en Allemagne que l'on rencontre la solution révolutionnaire du châssis souple qui double la suspension normale et permet des débattements des essieux plus grands.

Le problème du transport des charges très lourdes et quelquefois indivisibles soulève des difficultés particulières et les solutions proposées sont fort controversées. On a vu récemment une maquette grandeur nature d'un camion de 100 tonnes. Nombreux sont ceux qui reprochent à cette

Ph. Nougarède-C.R.E.P.S.

formule son prix de revient incompatible avec un amortissement normal d'un matériel dont l'emploi ne peut être qu'exceptionnel. On lui oppose la formule des remorques à haute capacité de charge, utilisables normalement avec des charges courantes et un seul tracteur, et exceptionnellement, lorsqu'il s'agit de chargements très lourds, avec l'appoint passager d'un deuxième tracteur. On peut reprocher aux remorques, d'une manière générale, leur inertie totale. Ce ne sera bientôt plus vrai car on procède actuellement à des essais de remorques dont les essieux peuvent être rendus moteurs lorsque des circonstances difficiles l'exigent.

Quant aux transports normaux de quelques dizaines de tonnes, ils sont assurés d'une manière satisfaisante par les camions de 300 ch à deux ou trois essieux moteurs bien adaptés à ce genre de travail.

Il est curieux de constater que c'est dans le domaine du transport rapide de personnel que le matériel manque le plus. On attend toujours l'équivalent d'une voiture normale européenne transposée aux normes sévères du Sahara. Précisons bien, comme nous l'avons fait plus haut, qu'il s'agit d'assurer un service intensif et régulier et non d'une circulation légère ou occasionnelle pour laquelle le matériel européen peut quelquefois suffire avec quelques aménagements sommaires.

Solutions d'avant-garde

Il serait injuste, enfin, de ne pas mentionner les solutions très spéciales d'origine américaine proposées par Le Tourneau. Il s'agit en général de véhicules dotés de roues énormes, équipées de pneus qui dépassent trois mètres de diamètre avec des boudins de plus de 1,20 m d'épaisseur; ces pneus coûtent plus de trois millions la pièce et les engins géants de Le Tourneau en utilisent facilement six ou huit.

La solution la plus hardie au problème difficile du transport de liquides en terrain varié est certainement celle qui consiste à remplir les pneumatiques eux-mêmes du liquide à transporter et de faire tirer par un tracteur tous-terrains des essieux libres reliés entre eux par des barres d'acier. Les magazines américains nous ont fait connaître aussi les essais de pneumatiques cylindriques, plus larges que hauts, dont la pression au sol est extrêmement basse. Ces solutions ne peuvent évidemment pas prétendre à remplacer les pneumatiques conventionnels lorsque la charge et la vitesse de déplacement jouent un rôle prépondérant.

Jean BERNARDET

A 11 heures du matin, en hiver, sous le Cercle Polaire, il faut rouler phares allumés. Les turbines du Transfluide ont brassé l'huile sans interruption pendant 14 jours et 14 nuits, démontrant la parfaite indifférence du Transfluide aux variations climatiques et sa résistance à toutes les épreuves de la route.

Le Colonel DEBRUS, Chef du Service central des Sports des Forces armées, dirigeait l'expédition dont les 12 équipiers avaient subi un entraînement préliminaire intensif, d'abord à Joinville, ensuite à Chamonix.

L'équipage de la DOMAINE. Quatre hommes étaient à bord de chaque voiture, se relayant quatre fois toutes les 6 heures au poste de pilote et à celui de navigateur.

Des réservoirs supplémentaires assuraient à chaque voiture une autonomie routière d'environ 1.000 km. A l'exception des arrêts aux frontières, on ne coupait le contact que pour le ravitaillement en essence.

Les 3 véhicules du raid : une Transfluide de série, une Domaine de série et un 750 kg Renault Tous Terrains, comportaient les équipements "Tropiques" et "Grand Froid", montés couramment sur les véhicules exportés dans les pays au climat excessif.

Dans la neige et dans la boue, la Transfluide a montré sa résistance.

Dans la vie courante, on apprécie chaque jour sa douceur...

7029

RENAULT

RÉGIE NATIONALE

LES 3 ÉQUIPAGES DU RAID

LAPONIE-BONNE ESPERANCE

ONT RECHERCHÉ LE PIRE

26 Janvier 1958 (11 heures) : la Transfluide et la Domaine quittent KARASJOK (au-delà du Cercle polaire).

11 Février 1958 (16 heures 30) : la Transfluide et la Domaine atteignent LE CAP (Afrique du Sud).

16 jours leur ont suffi pour franchir deux continents de bout en bout.

Temps réel de route : 18.000 Km en 14 JOURS
(en déduisant le passage de huit frontières, la traversée de la Méditerranée et la réfection d'un pont en Afrique Centrale).

18.000 Km : vous les faites en 6 mois si vous roulez 100 km par jour ! — 60 km/heure de moyenne : vous le faites couramment sur de bonnes routes... L'auriez-vous fait sur la neige en Finlande et le verglas des autoroutes allemandes en janvier ?

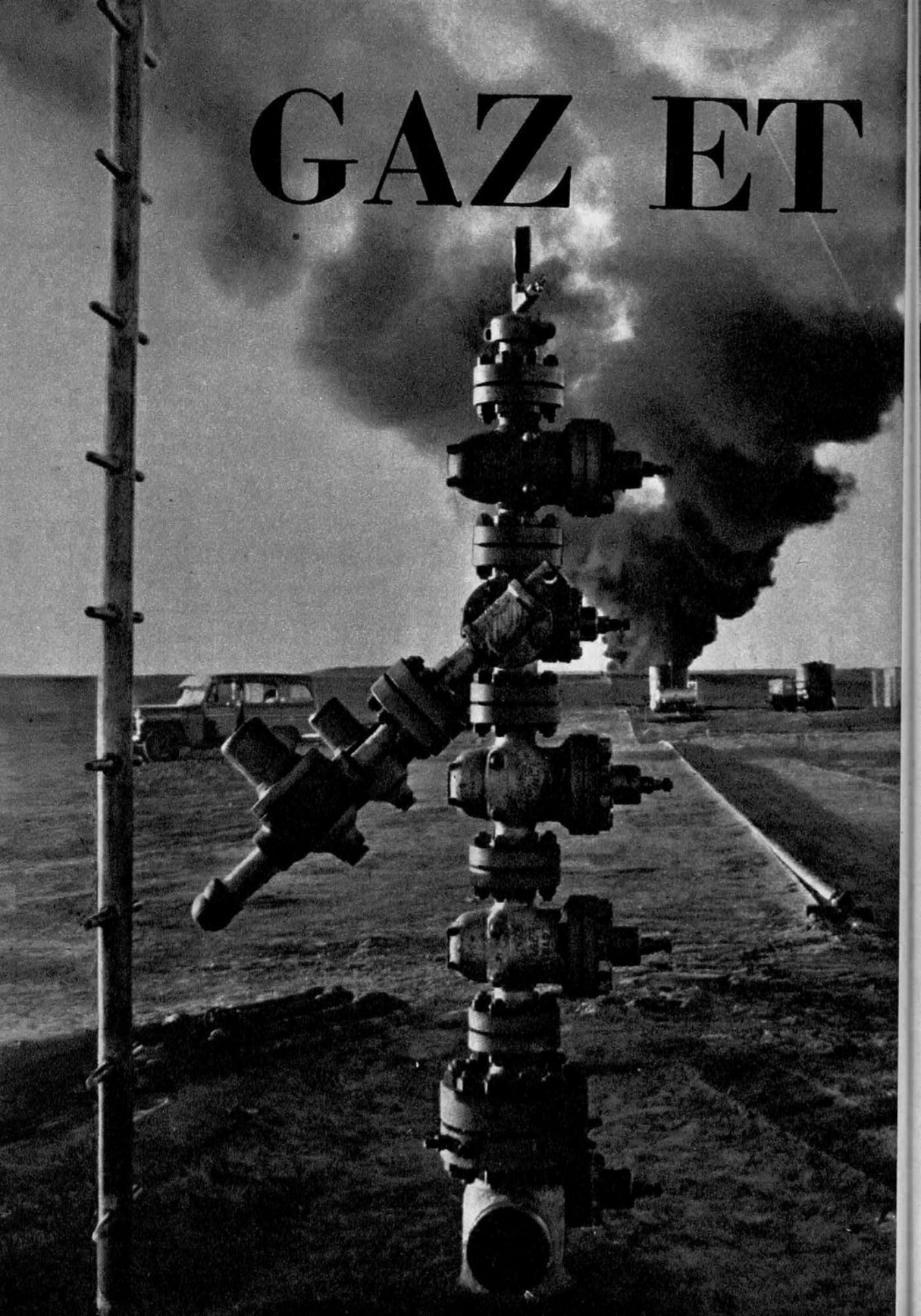
Le 750 kg "tous terrains" était à son affaire...
La Domaine ne faisait que son devoir...
La Transfluide les a battus sur leur terrain.

LE FILM DU RAID

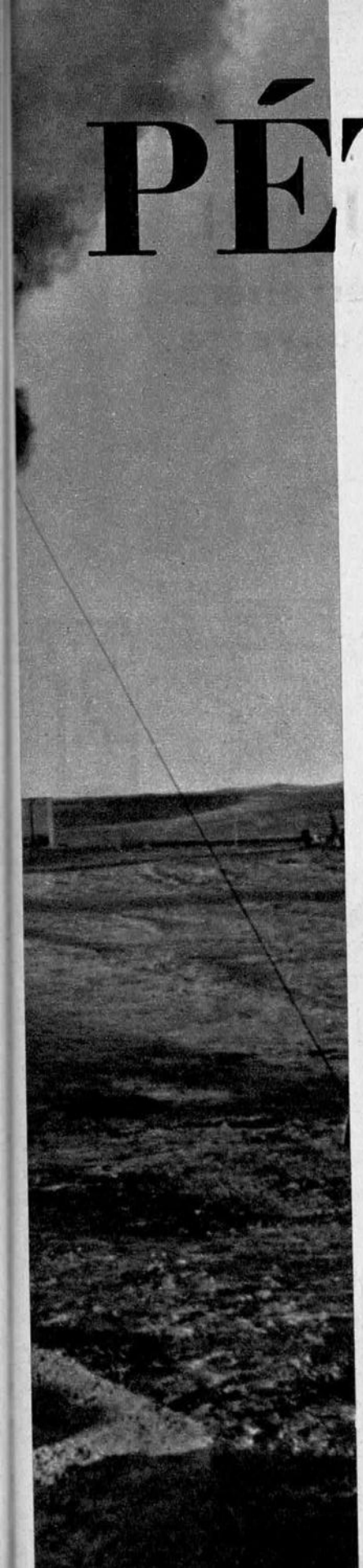
		DISTANCES	MOYENNE PRATIQUE	MOYENNE ROUTIÈRE (Neutralisations déduites)
NEIGE et GLACE	**KARASJOK-MARSEILLE** *L'Europe*, du Nord au Sud... Conditions atmosphériques épouvantables : neige, brume, verglas, qui provoquent, dans le même temps, l'abandon des 3/4 des concurrents du Rallye de Monte-Carlo.	4.000 km	60 km/h	65 km/h
	MARSEILLE-ALGER Traversée de la Méditerranée par avion.	NEUTRALISÉ		
DÉSERT	**ALGER-AGADÈS** *Le Sahara* : pierre et sable. Température diurne : 52°. Pour rouler sur la tôle ondulée il faut tenir constamment la vitesse de 75 km/heure. La nuit, le thermomètre descend jusqu'à 0°. On ne distingue plus la piste (brouillée par les missions de prospection pétrolière). On doit se résigner à descendre à 10 km/heure sous peine de s'égarer dans le désert.	3.000 km	35 km/h	40 km/h
PISTES EQUATORIALES et TROPICALES	**AGADÈS-LUSAKA** *Les Tropiques* : la poussière impalpable qui envahit tout et se transforme en boue gluante après la pluie. Par 30 à 40° d'une chaleur moite et constante, c'est l'épreuve la plus pénible pour les hommes et les mécaniques.	7.600 km	39 km/h	43 km/h
BONNES ROUTES	**LUSAKA-LE CAP** *L'Afrique* du Sud : c'est l'été. Enfin, des routes qui ne sont plus des pistes. Les voitures, en parfait état mécanique, foncent vers le but.	3.400 km	90 km/h	95 km/h

7029

GAZ ET



PÉTROLE



LA GÉOLOGIE A LA RECHERCHE DES ROCHES PRODUCTIVES

LES résultats de classe internationale déjà acquis cristallisent l'intérêt des pétroliers sur les régions sahariennes. De nombreuses Sociétés s'efforcent d'obtenir des permis de recherche et il est intéressant de faire le point des méthodes de prospection utilisées à travers l'immense bassin sédimentaire saharien.

Rappelons tout d'abord brièvement l'origine des hydrocarbures et les conditions qui commandent leur accumulation dans les couches géologiques.

Le pétrole, ou plus exactement les hydrocarbures, sont des « roches » sédimentaires au même titre que le charbon, le fer ou le sel. On admet à peu près universellement à l'heure actuelle qu'elles ont pris naissance dans les milieux marins ou lagunaires.

Les matières organiques en suspension dans ces milieux, algues et plancton notamment, tombent au fond des lagunes ou des océans et se mêlent aux dépôts minéraux : argiles, sables fins... La plupart du temps, lorsque le milieu est agité et que les dépôts sont grossiers, la matière organique disparaît par oxydation. Par contre, si l'enfouissement a lieu en milieu calme et à l'abri de l'air, les matières organiques subissent une réduction et évoluent vers la formation d'hydrocarbures. Ce processus est certainement favorisé par des « catalyseurs » et les bactéries, la radioactivité ou certains équilibres physicochimiques complexes doivent jouer un rôle dans la genèse du pétrole.

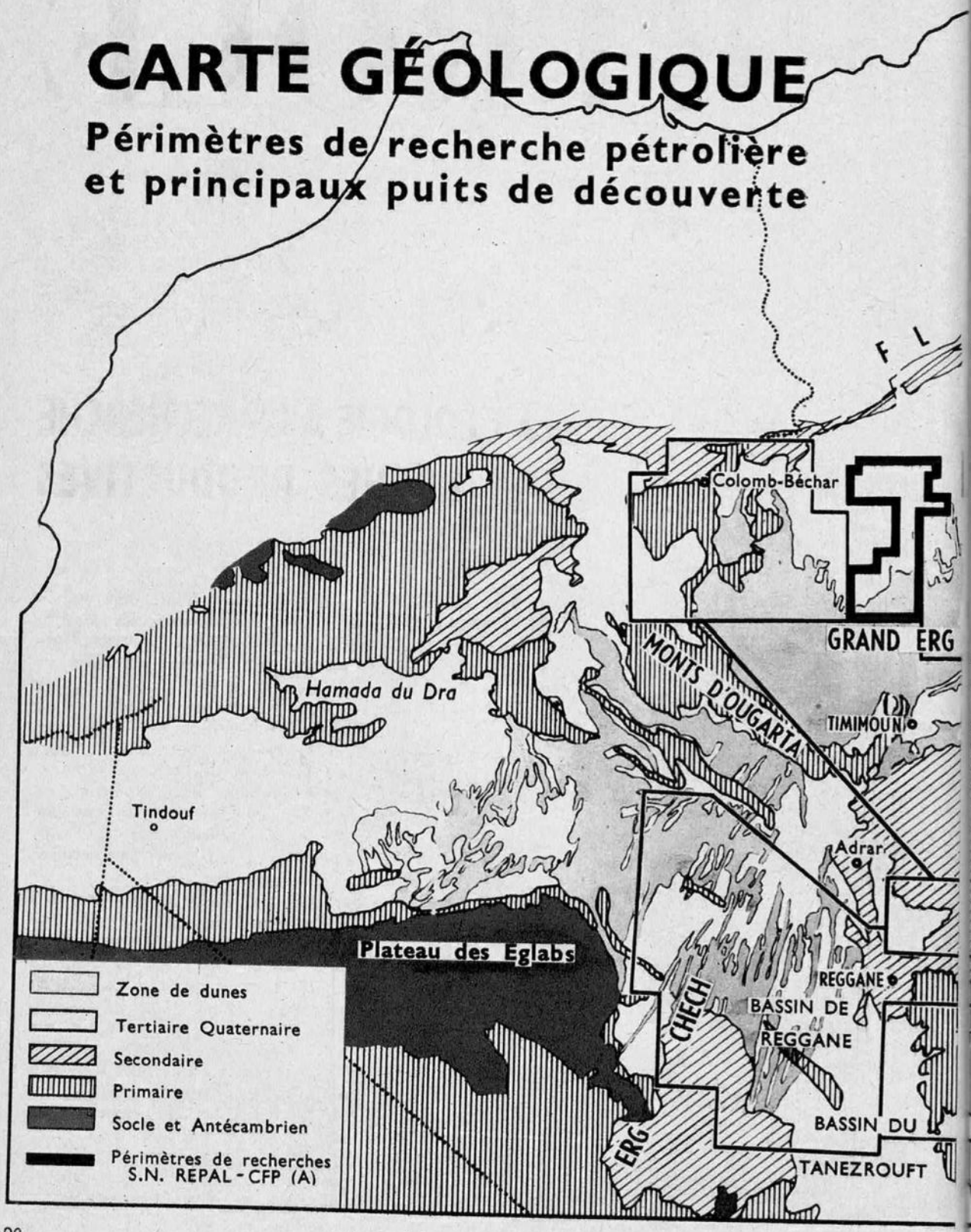
La « *roche-mère* » ainsi formée va subir des phénomènes de compaction sous le poids des sédiments

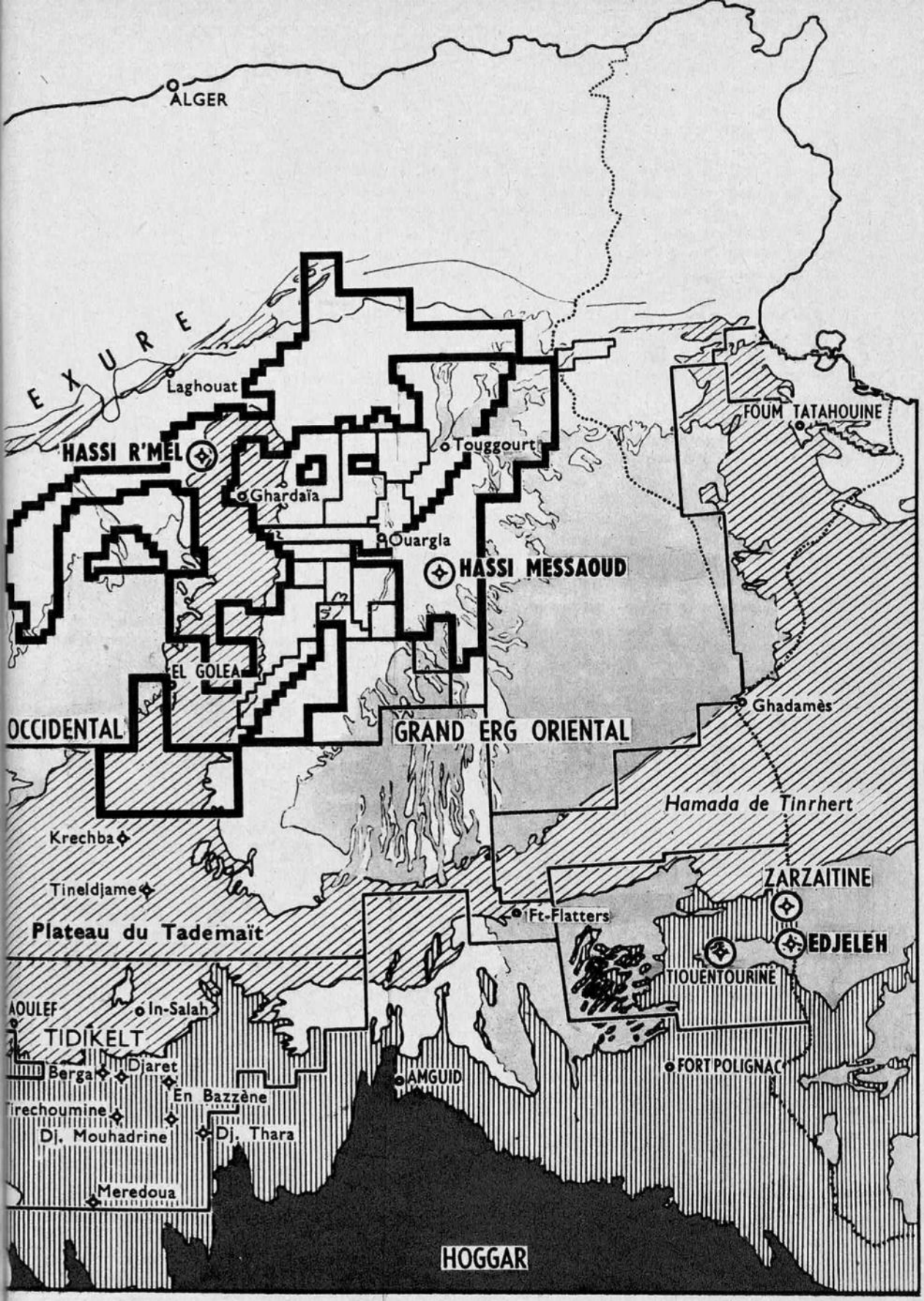
SUITE PAGE 98

Un « arbre de Noël » à Hassi Messaoud

CARTE GÉOLOGIQUE

Périmètres de recherche pétrolière et principaux puits de découverte




ALGER
EXURE
Laghouat
HASSI R'MEL
Ghardaïa
Touggourt
Ouargla
HASSI MESSAOUD
FOUM TATAHOUINE
EL GOLEA
OCCIDENTAL
GRAND ERG ORIENTAL
Ghadamès
Hamada de Tinrhert
Krechba
Tineldjame
Plateau du Tademaït
Ft-Flatters
ZARZAITINE
EDJELEH
TIOUENTOURINE
AOULEF
In-Salah
TIDIKELT
Djaret
Berga
En Bazzène
AMGUID
FORT POLIGNAC
Tirechoumine
Dj. Mouhadrine
Dj. Thara
Meredoua
HOGGAR

SUITE DE LA PAGE 95

qui viennent la recouvrir. Les fluides qu'elle contient, hydrocarbures, eau salée, vont être exprimés et vont migrer vers des roches auxquelles leur structure intime confère une certaine porosité. Le pétrole subit ainsi une *migration primaire*, de la roche-mère vers une *roche réservoir* dont les sables, les grès et les calcaires constituent les meilleurs exemples.

Mais le pétrole est un liquide et il va être soumis dans son réservoir aux lois de la dynamique des fluides : il cherchera à gagner systématiquement les zones du réservoir se trouvant dans les conditions de pression les plus basses, c'est-à-dire les zones structuralement les plus hautes.

Un lent drainage du réservoir va s'opérer et, en l'absence de barrières imperméables, les hydrocarbures auront tendance à gagner la surface du sol, notamment par les cassures ou les failles.

Ils donneront en surface des indices et s'oxyderont lentement pour disparaître ensuite. C'est là le sort de la majeure partie des hydrocarbures formés.

Les « pièges » à hydrocarbures

Cependant, des *couvertures* imperméables constituées par des roches très compactes (argiles et sel par exemple) préservent souvent les réservoirs de cette dispersion de l'huile qu'ils contiennent. Les déformations des couches et les variations brusques dans la nature des sédiments peuvent alors créer des « *pièges* » où s'accumulent les hydrocarbures.

Ces pièges sont de deux sortes : *pièges structuraux* où les couches retiennent les fluides qui circulent dans la partie convexe de leurs plis (structures anticlinales) ou contre de grandes cassures du sol (pièges contre faille), et *pièges stratigraphiques* où, une roche compacte faisant suite brusquement à la roche poreuse, le réservoir se trouve fermé.

Mais le gisement ainsi formé constitue un système en équilibre précaire et les déformations tectoniques successives remettent en circulation la masse d'hydrocarbures lentement accumulée. Le gisement est alors détruit, une nouvelle migration est amorcée. Elle aboutira à la dispersion définitive ou à de nouveaux piégeages.

La prospection pétrolière de la plupart des bassins sédimentaires a été déterminée par l'existence d'indices d'hydrocarbures en surface. Elle se développe alors suivant un schéma classique.

Des forages sont implantés au voisinage des indices et mettent en évidence les roches-mères, les réservoirs et les couvertures. L'exploration se poursuit par l'inventaire de tous les pièges structuraux susceptibles d'exister dans le bassin. La géologie de surface reconnaît les structures anticlinales et les grands accidents visibles. Les équipes géophysiques poursuivent cette investigation structurale en profondeur et dans les zones où des couvertures alluvionnaires masquent les mouvements des couches.

En général, ce n'est qu'après avoir testé systématiquement par forages toutes les structures que l'on s'attaque à la recherche, beaucoup plus ardue, donc beaucoup plus coûteuse, des pièges stratigraphiques.

La géologie saharienne

Le but de cet article n'est pas de reprendre la théorie de tous les modes de prospection, mais de montrer combien le caractère particulier du Sahara a nécessité d'adaptations de la part de méthodes jugées pourtant classiques et bien rodées.

Nous allons revenir une douzaine d'années en arrière, mesurer l'état de nos connaissances sur la géologie saharienne à cette époque et suivre pas à pas l'effort de recherche des prospecteurs.

La surface sédimentaire saharienne, c'est-à-dire susceptible de renfermer des accumulations d'hydrocarbures, atteint 1 100 000 km². Malheureusement aucun indice n'avait été reconnu sur toute cette énorme étendue et l'opinion de la plupart des géologues était que les massifs cristallins et métamorphiques des Eglabs et du Hoggar se prolongeaient loin vers le Nord. La couche de roches sédimentaires devenait là très fine et le volume des sédiments ne permettait pas d'espérer des accumulations d'hydrocarbures en quantités commerciales.

Malgré ces hypothèses pessimistes et le handicap grave du manque d'indice, quatre Sociétés, après quelques missions de reconnaissance, obtenaient des périmètres de recherche s'étendant sur 570 000 km², ceci en 1951.

L'exploration en surface

Près des deux tiers de la couverture sédimentaire du Sahara sont constitués par des formations tertiaires ou quaternaires, dunes et hamadas, ou par des plateaux crétacés dont la valeur pétrolière est vraiment faible.

Seule l'étude des séries marginales, bordures Nord du Hoggar et des Eglabs,

Monts d'Ougarta, Atlas Saharien et Sud Tunisien, met en évidence des séries géologiques pétrolières tant par la nature des sédiments que par leurs mouvements structuraux.

L'hypothèse de départ consistait à admettre que les séries visibles à l'affleurement sur les bordures du Sahara se poursuivaient sous la couverture définie plus haut. Il était cependant dangereux de délaisser totalement l'étude de cette couverture et on était en droit d'espérer que les mouvements structuraux profonds susceptibles de représenter des pièges se réflétaient dans les terrains de surface, si ces derniers étaient moulés sur les structures profondes.

Il était donc nécessaire, d'une part, de monter des missions géologiques destinées à aller étudier sur les bordures du bassin les sédiments à l'affleurement et à déterminer les séries pouvant constituer un but de recherche pétrolière; d'autre part, d'effectuer au sol le levé structural des principaux accidents afin de déterminer rapidement les implantations de forage possibles.

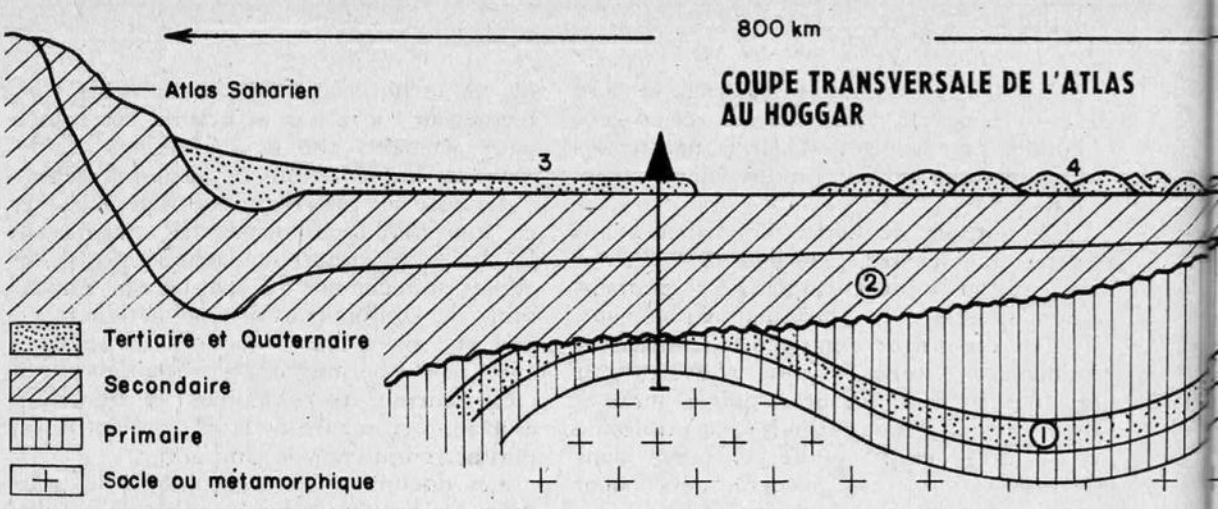
La mise sur pied de missions géologiques et topographiques nécessitait auparavant le choix des zones où devaient porter les efforts de recherche : il était en effet impensable de vouloir couvrir systématiquement, par une prospection au sol, les énormes surfaces des périmètres accordés. Cela aurait été beaucoup trop onéreux et beaucoup trop long en regard de la durée d'octroi du périmètre qui était de cinq ans.

Les documents cartographiques les plus précis se limitent pour les régions les plus favorisées à du 1 / 200 000. Les zones intéressant les pétroliers, situées au-dessous du 26e parallèle, ne sont couvertes que par du 1/1 000 000.

Quant à la carte géologique, le document

Cliché B.R.P

***UN GÉOLOGUE AU TRAVAIL** sur photographies aériennes. On remarque sur les photos assemblées la netteté avec laquelle ressortent les mouvements du terrain. Il utilise un stéréoscope pour mieux observer le relief.*



de base est constitué par les quatre feuilles au 1/2 000 000 de la carte publiée par le XIX[e] Congrès Géologique International de 1952 à Alger, que sont venues compléter plusieurs feuilles au 1/500 000 publiées par les Services des Mines d'Algérie, Tunisie et Maroc et par l'Institut des Travaux Sahariens.

Ces documents cartographiques n'existaient d'ailleurs pas tous au début de la prospection et sont encore insuffisants pour un travail de géologie pétrolière détaillée, destiné à l'implantation de forages dont le coût peut facilement dépasser un demi-milliard.

La photographie aérienne

L'utilisation systématique de la photographie aérienne a permis de pallier toutes ces difficultés : manque de fonds cartographiques précis, difficultés d'accès, immensité des surfaces à prospecter. Elle a permis de délimiter rapidement les zones intéressantes et de concentrer l'effort du géologue de terrain sur les problèmes majeurs.

La couverture en photographie aérienne a été exécutée par l'Institut Géographique National. Elle s'étend à toute la surface des anciens permis des sociétés de recherches : C.R.E.P.S. (Compagnie de Recherches et d'Exploitation de Pétrole au Sahara), C.P.A. (Compagnie des Pétroles d'Algérie), S.N. REPAL (Société Nationale de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Algérie) et S.E.R.E.P.T. (Société de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Tunisie). Le Bureau de Recherches de Pétrole a d'autre part provoqué d'autres campagnes sur des zones actuellement couvertes par les périmètres de la C.E.P. (Compagnie d'Exploration Pétrolière) et sur la région de Tindouf.

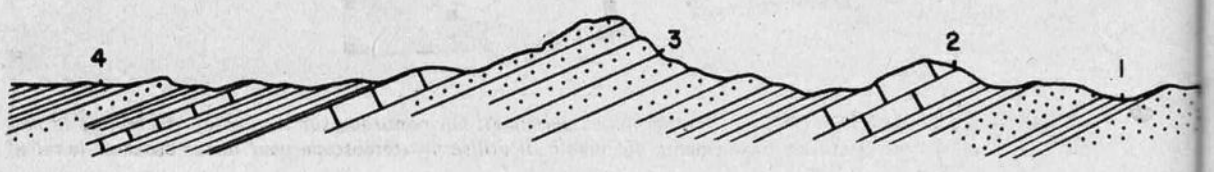
Les prises de vues sont effectuées par des « Forteresses volantes » à des altitudes de 5 500 à 6 000 m. Les clichés se présentent sous un format de 18 × 18 et correspondent à une échelle voisine du 1/55 000.

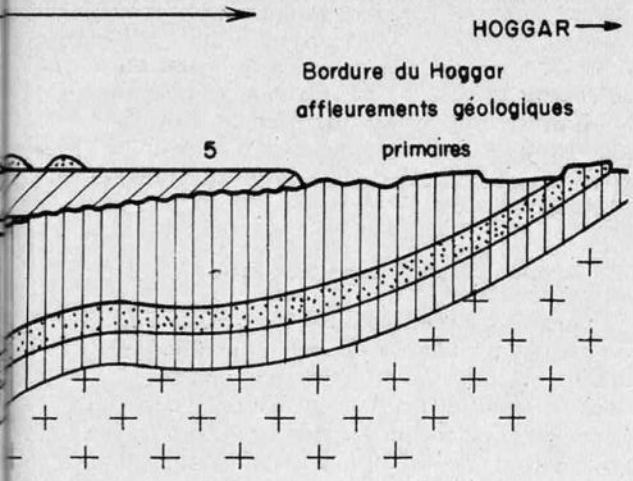
Les photographies successives se recouvrent, permettant l'examen binoculaire à l'aide d'un stéréoscope.

Ainsi, à partir de la couverture photo-aérienne peut-on, d'une part, dresser des cartes topographiques grâce à la photogrammétrie ou encore plus simplement des photos-plans au 1/55 000, d'autre part obtenir une restitution photogéologique.

L'examen photogéologique est effectué par des spécialistes qui, à partir de l'étude stéréoscopique du relief sur photographies aériennes, dressent un schéma où se retrouvent la position des affleurements et le tracé des grands accidents structuraux, failles et anticlinaux notamment.

COUPE STRATIGRAPHIQUE ET « LOG LITHOLOGIQUE »



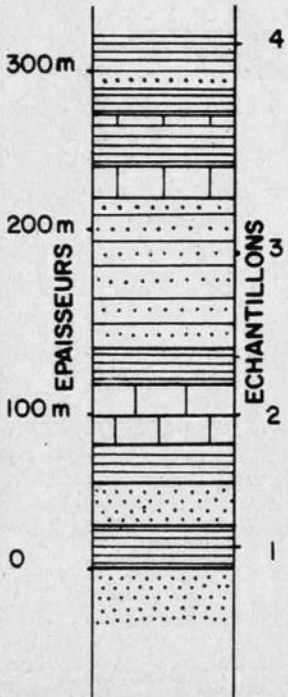


CE schéma montre la prolongation vers le Nord des séries primaires qui sont visibles à l'affleurement plus au Sud en bordure du massif du Hoggar. Un niveau réservoir (1), particulièrement intéressant pour la recherche des hydrocarbures, étudié par coupes stratigraphiques au Nord du Hoggar, peut être retrouvé par forage sous les séries secondaires qui le recouvrent. Le schéma montre aussi la découverte par les grands forages d'exploration du Nord de séries secondaires (2) inconnues à l'affleurement au Sud. On remarquera la couverture tertiaire et quaternaire formée par des hamadas (3), des regs (4) et des plateaux calcaires (5). Enfin, ce schéma met en évidence la nécessité où se trouve le géologue de faire appel aux techniques de la géophysique pour explorer dans le Nord les formes structurales des couches géologiques du Primaire.

Il est même possible parfois d'évaluer avec précision l'épaisseur des sédiments par l'observation des affleurements en photographie aérienne.

Pour situer l'intérêt de la méthode, disons seulement que la C.R.E.P.S. ayant décidé la couverture aérienne d'une partie de ses périmètres, les équipes spécialisées de l'Institut Géographique National couvrirent 130 000 km² en photo, du 24 au 31 mars 1952. La livraison des tirages fut échelonnée entre le 27 juin et le 1er août et les premiers documents photogéologiques furent livrés dès le mois d'octobre 1952. En moins de huit mois, la C.R.E.P.S. possédait le document de base nécessaire au démarrage de ses missions géologiques. Ces dernières avaient pu, sur photographies aériennes, choisir leurs itinéraires dans les zones dont l'accès est toujours difficile, prévoir les emplacements les meilleurs pour prélever les échantillons de terrain nécessaires aux études de laboratoire, éliminer enfin près de 50 000 km² dont l'intérêt pétrolier semblait aléatoire.

Il est donc certain que cette technique a totalement transformé les travaux géologiques et a permis de gagner des années de travail sur le terrain.



La coupe stratigraphique ci-contre est restituée en situant exactement les échantillons, prélevés par le géologue sur le terrain, sous forme d'un « log lithologique » (à droite). Cette représentation permet la détermination exacte des épaisseurs des couches et facilite la comparaison avec les résultats fournis par les forages.

Cartographie et géologie sur le terrain

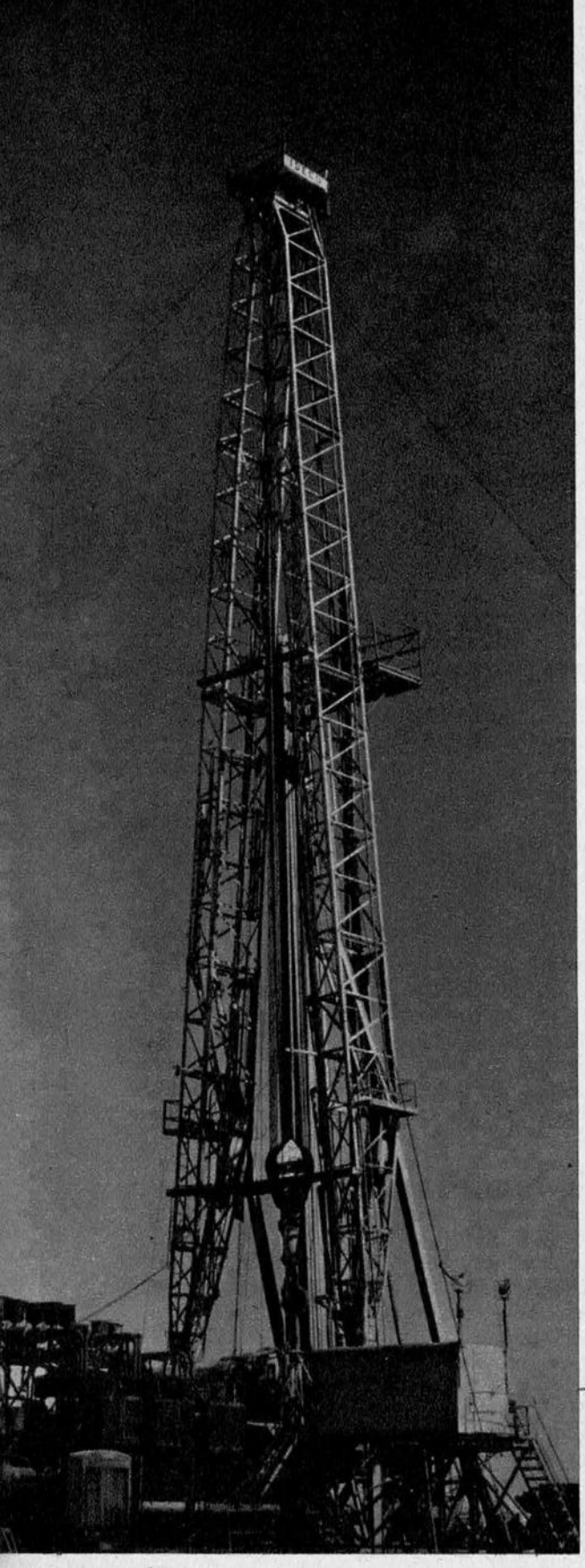
La grande particularité du Sahara réside, nous l'avons vu, dans un recouvrement très important des séries susceptibles d'intérêt par des formations calcaires, argileuses ou sableuses constituant des plateaux (Tademait, Mzab-Tinrhert), des hamadas (Dra, Tounassine, Guir, Oued Rharbi) ou encore des ergs (Erg Chech, Erg Occidental, Erg Oriental, Erg Issaouane).

Ces couvertures, sans grand intérêt, encore appelées « morts-terrains », n'ont pas justifié, en dehors du Mzab, de grandes campagnes géologiques, mais plutôt de petites coupes de terrains et des levés structuraux restreints.

C'est surtout en bordure du Hoggar et dans les Monts d'Ougarta qu'affleurent les séries paléozoïques les plus intéressantes du point de vue pétrolier.

L'optique des Sociétés était d'ailleurs différente suivant que leur permis couvrait des zones d'affleurements du paléozoïque, donc intéressantes, ou était situé dans des zones recouvertes de morts-terrains.

Dans le premier cas, c'était celui de la C.R.E.P.S., la campagne de terrain devait comprendre non seulement une étude de la succession des séries stratigraphiques et un échantillonnage de ces séries, mais aussi l'exécution de la carte géologique et le levé structural des accidents tectoniques.



Dans l'autre, les Sociétés dont les permis se situent très au Nord allaient étudier sur les bordures du bassin saharien les terrains paléozoïques qu'elles espéraient retrouver sous la couverture de morts-terrains dans leurs périmètres.

Les missions géologiques

La mise sur pied de missions géologiques posait des problèmes délicats concernant le matériel à utiliser et le ravitaillement.

Le travail s'effectue en tout terrain à partir du moment où, par les grandes pistes sahariennes, la mission a atteint sa zone d'exploration. Cette dernière est toujours située loin d'Alger, souvent à mille kilomètres, et les équipes doivent vivre en autonomie durant plusieurs mois. Elles se ravitaillent cependant régulièrement en essence et en produits alimentaires frais dans les grandes oasis les plus proches.

Depuis peu, certaines sociétés de distribution hôtelières peuvent mettre en place, à la demande, en des oasis fixées à l'avance en fonction du trajet de la mission, des containers frigorifiques où les équipes géologiques trouvent des denrées de choix. Mais ceci reste l'exception.

Les missions sont plus ou moins lourdes, c'est-à-dire composées de plus ou moins de géologues et de véhicules.

Une mission légère, et c'est en général celle qui a le meilleur rendement, comprend deux géologues, un topographe, un chauffeur et deux ou trois porteurs indigènes. Les véhicules utilisés sont le plus souvent des Land-Rover et des Power-Waggons. Une mission légère est équipée de 2 Powers et 2 Land-Rover ou simplement de 1 Power et 2 Land-Rover. Le Power fait point fixe au camp établi au centre de la zone à explorer. Les géologues rayonnent autour du camp. Le Power assure régulièrement le ravitaillement sur l'oasis la plus proche.

Le travail consiste, nous l'avons vu, dans l'exécution de coupes stratigraphiques, puis, le cas échéant, dans le levé de la carte géologique; pour cela, le topographe doit asseoir le fonds cartographique sur les points astronomiques existants.

***LES FORAGES DE RECONNAISSANCE** effectués avec des sondeuses légères sur camion (à droite Fairing 1500) ne dépassent guère en général 200 m (core-drills). L'implantation d'un appareil lourd (à gauche) permet d'atteindre 4 000 m (wildcat).*

Les *coupes stratigraphiques* représentent au Sahara l'étude-clé pour la compréhension des forages qui seront exécutés par la suite. Aidés par leurs observations photogéologiques, les géologues atteignent le point où les séries affleurent le mieux et d'une manière continue. Ils effectuent alors un cheminement topographique suivant un axe perpendiculaire aux couches et, par une série de visées successives et la mesure des pendages des formations, ils déterminent l'épaisseur des couches géologiques.

En même temps, ils effectuent une étude détaillée de la succession des roches rencontrées et prélèvent des échantillons qui seront étudiés en laboratoire.

La coupe étudiée est restituée sous la forme d'un « log lithologique » comme le montre le schéma de la page 100. La connaissance de la série stratigraphique permet de dégager les roches-mères, les réservoirs et les couvertures possibles. Elle met aussi en évidence des bancs repères, tranchant dans la topographie, qui faciliteront les levés structuraux aussi bien par photogéologie que sur le terrain. Enfin elle permet de prévoir l'épaisseur des séries que devra traverser un forage avant d'atteindre son objectif et d'établir le programme de forage en conséquence.

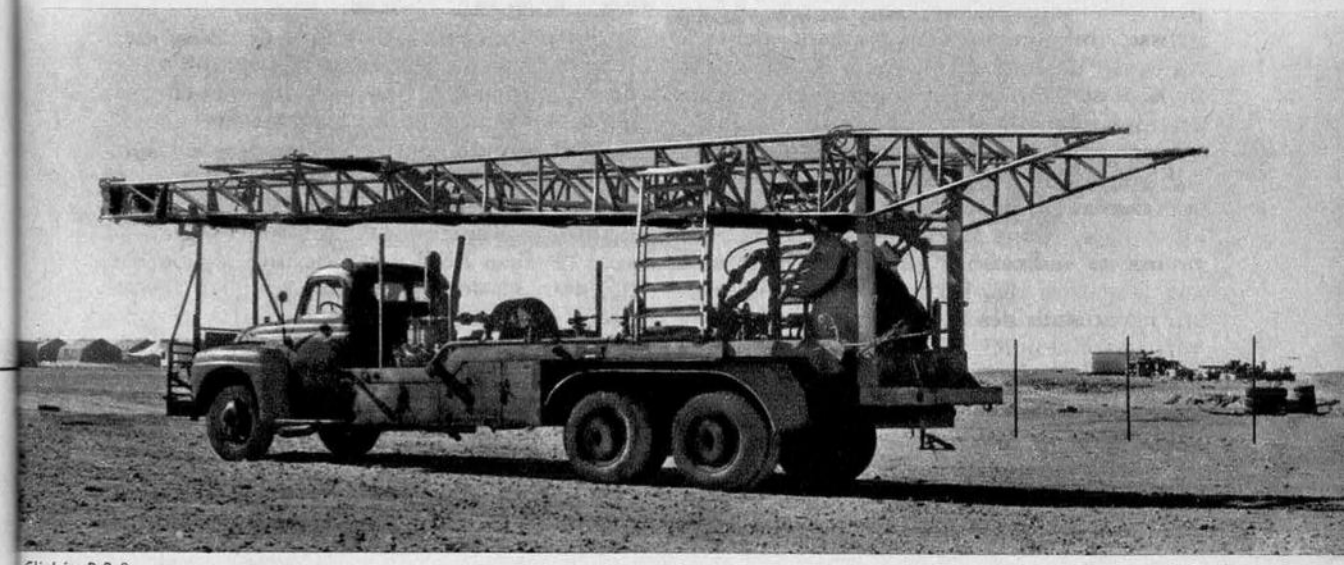
Ces missions de terrain se heurtent parfois à de grosses difficultés de pénétration, surtout à travers les ergs où les cheminements sont pénibles. Aussi les géologues ont-ils parfois troqué la Land-Rover pour l'hélicoptère, comme ce fut le cas dans la mission de préreconnaissance organisée par le Bureau de Recherches de Pétrole sur la bordure Est du Grand Erg Oriental. Cette mission avait pour but de rechercher si, au creux des dunes, il existait des affleurements permettant de se faire une idée géologique et pétrolière des terrains recouverts par l'erg. L'existence de photographies aériennes facilitait grandement les problèmes de repérage en cours de vol. Grâce à la souplesse des appareils, deux hélicoptères Bell, l'un type 4762, l'autre type 47 G, de la Compagnie Gyrafrique, les rendements obtenus furent très bons. 20 000 km² d'erg furent battus en 75 heures de vol, la durée effective de la mission ayant été de 23 jours.

Géologie de laboratoire

Nous ne la citons ici que pour mémoire, car au Sahara comme ailleurs elle joue toujours le même rôle : à l'aide d'échantillons prélevés sur le terrain par les missions, établir ce que l'on a coutume d'appeler une *échelle stratigraphique*, c'est-à-dire définir les caractères de chaque série géologique observée à l'affleurement afin de pouvoir les reconnaître par la suite dans les forages et en déterminer l'âge.

Les études sahariennes de laboratoire ont cependant mis l'accent sur l'intérêt d'une science pétrolière nouvelle : la *sédimentologie*.

S'il est important en effet de déterminer l'âge géologique d'un échantillon, il est certainement encore plus utile pour le pétrolier de pouvoir replacer son échantillon dans le « cadre sédimentaire » du bassin marin au fond duquel il s'est déposé. Nous



Clichés B.R.P

savons tous que lorsque, sur les plages, se déposent des graviers ou des sables, les fonds vers la haute mer ne sont plus recouverts que par des vases fines. Le but de la sédimentologie consiste à prévoir, par exemple, à partir de quelques échantillons, où il faut rechercher les séries les plus sableuses, c'est-à-dire susceptibles de constituer des réservoirs. On voit que si l'étude structurale permet de déterminer les zones les plus riches en « pièges », elle doit être complétée par une étude sédimentologique qui seule permet d'affirmer que des « réservoirs » valables participent à ces pièges. D'autre part, les études de sédimentologie sont à la base de la recherche des pièges stratigraphiques.

Les forages de reconnaissance

On a coutume de penser, et c'est vrai dans la majeure partie des prospections, que le forage constitue la phase ultime de la recherche.

Dans les régions sahariennes, sur les zones où les dépôts récents recouvrent les séries jugées intéressantes, il est nécessaire de reconnaître ces dernières en effectuant des forages de reconnaissance. Ces forages de reconnaissance sont de deux types : les « core-drills » et les grands « wildcats » d'exploration.

Les « core-drills » effectués avec des sondeuses légères sur camion, servent surtout à reconnaître la nature des terrains immédiatement situés sous la couverture de « morts-terrains » et à recueillir les premières observations structurales des zones couvertes. Ces forages sont rapidement menés, leur profondeur n'excède guère 200 m mais peut atteindre parfois 400 à 500 m. La grosse difficulté réside souvent dans le transport de l'eau nécessaire à la fabrication de la boue de forage, et des camions citernes accompagnent la sondeuse.

Les grands « wildcats » représentent probablement une des applications les plus spectaculaires de la recherche pétrolière au Sahara. Dans les périmètres Nord, les premières indications sur la répartition et sur la nature des formations géologiques, sur les qualités des réservoirs et sur les couvertures possibles n'ont pu, en l'absence d'affleurements, être obtenues qu'en exécutant des forages de près de 4 000 m de profondeur.

Ces forages furent exécutés suivant un plan de recherche établi à l'avance et permirent d'affirmer que les séries observées à l'affleurement quelques centaines de kilomètres au Sud se prolongeaient vers le Nord jusqu'à l'Atlas saharien. D'autres séries géologiques insoupçonnées jusqu'alors au Sahara furent aussi reconnues.

La caractéristique de ces « wildcats » est d'être très isolés et de nécessiter de la part des services géologiques des Sociétés une attention toute particulière. Aussi un géologue réside-t-il en permanence sur le forage. Il possède dans une cabine-laboratoire située sur le chantier tout l'équipement nécessaire à l'examen des déblais de forage et à l'analyse des indices.

On s'efforce de rendre cette analyse automatique et semi-continue. Des appareils spéciaux équipent à l'heure actuelle la plupart des cabines géologiques sahariennes et permettent un enregistrement systématique des indices rencontrés dans le forage.

Liaison par radio et avion

Bien que très éloigné du centre de la Société, le géologue de chantier soumet chaque jour par radio les décisions qu'il prend sur le chantier à l'avis de la Direction de son Service géologique. D'autre part, les échantillons recueillis, après une rapide étude au chantier, sont envoyés par avion au laboratoire central de la Société qui en effectue l'analyse complète.

Tous ces problèmes de liaison ont été évidemment étudiés avec soin et, à l'heure actuelle, un échantillon étant prélevé sur un forage et envoyé le jour même aux laboratoires d'Alger, par exemple, le résultat de l'analyse parviendra le lendemain par radio au géologue de sonde.

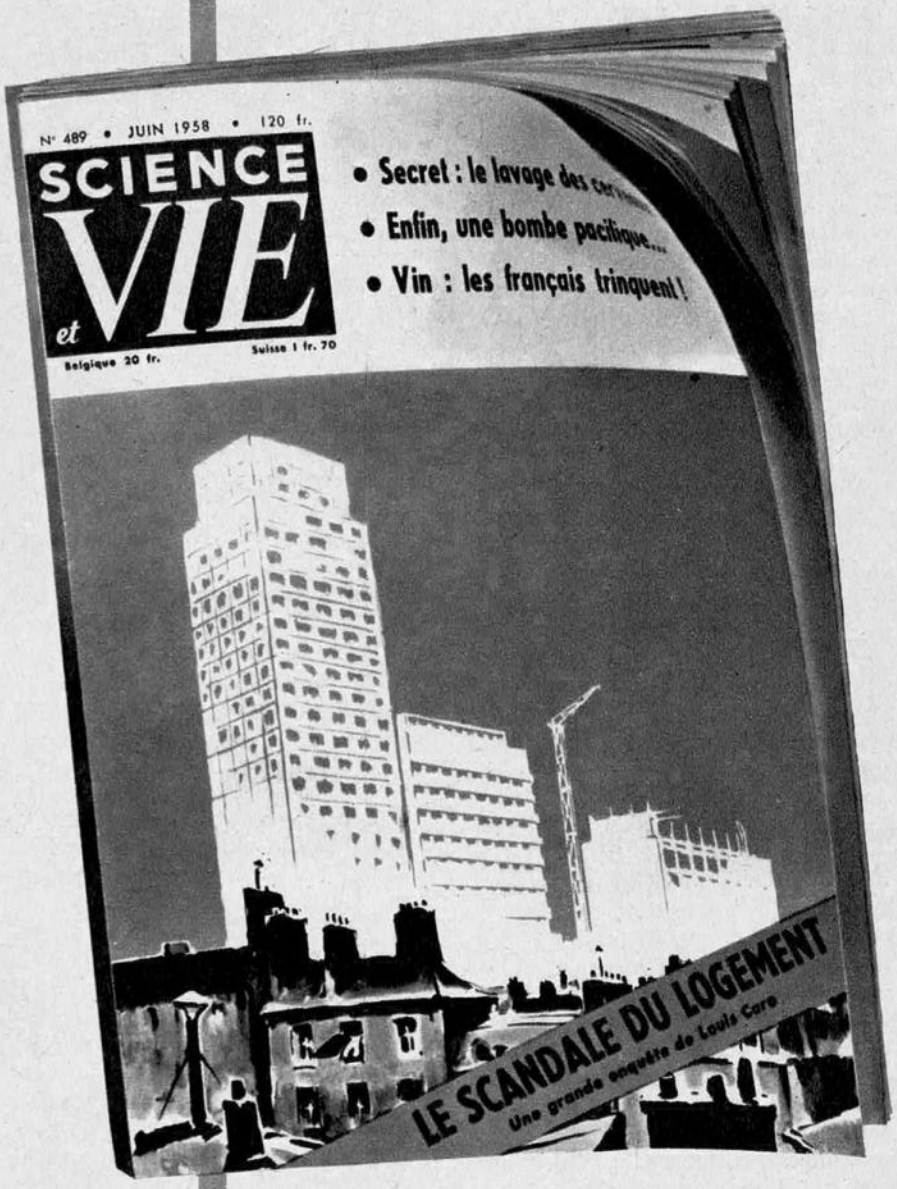
Par ces travaux de surface et de sub-surface, le géologue saharien a rassemblé les renseignements nécessaires pour l'implantation des véritables forages de recherche. Il a caractérisé les séries stratigraphiques, défini leur valeur pétrolière et mis en évidence les déformations structurales.

Malheureusement, plus de 700 000 km² du Sahara, nous l'avons vu, sont couverts par des formations récentes dont les déformations, étudiées par photogéologie, se sont révélées ne donner qu'une idée fausse des déformations des séries qu'elles recouvrent. Les techniques géologiques ne permettent pas cette exploration en profondeur des formes structurales.

Le géologue a alors laissé la place au géophysicien pour mener à bien l'exploration.

Claude TEMPÈRE
Ingénieur E.N.S.P.
Géologue au Bureau de Recherches de Pétrole

tous les mois



le magazine de notre époque

INFORME. EXPLIQUE

LA GÉOPHYSIQUE ORIENTE L'IMPLANTATION DES FORAGES

Le problème géophysique de l'exploration pétrolière au Sahara est parfaitement posé par les géologues : définir sous la couverture secondaire et tertiaire le comportement des terrains primaires, objectif pétrolier essentiel, c'est-à-dire : définir les bassins où ces terrains existent et estimer leur épaisseur; localiser dans ces bassins les points hauts (plis, structures) et les biseaux de terrains susceptibles d'avoir joué, dans l'histoire géologique, le rôle de « pièges à pétrole ».

Dans une large zone saharienne, les techniques géophysiques seules peuvent apporter une solution aux problèmes que nous venons de définir. Ces problèmes sont classiques, mais l'immensité des zones à battre, les difficultés inhérentes au désert, et le fait qu'avant 1951 aucune campagne géophysique digne de ce nom n'avait été réalisée dans le Sahara, ont donné à l'exploration géophysique du Grand Désert un caractère tout à fait particulier.

Les techniques géophysiques

Le principe fondamental de la prospection géophysique est très simple : il consiste dans la mesure à la surface du sol, ou à une certaine altitude au-dessus du sol, de grandeurs physiques dont la variation est liée à la nature et à la forme des terrains. On localise ainsi les zones les plus favorables pour les accumulations d'hydrocarbures; c'est dans ces zones que des forages seront implantés.

Quelles techniques comporte la panoplie du géophysicien ? Théoriquement le nombre des grandeurs physiques que l'on peut prendre en considération n'est pas limité; toutefois quatre d'entre elles sont à la base de méthodes maintenant éprouvées.

Ce sont :

— la densité des roches,
— leur susceptibilité magnétique,
— leur résistivité,
— la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans ces roches.

La gravimétrie

La *gravimétrie* utilise pour paramètre les différences ou « contrastes » de densité entre les roches; un sable non consolidé peut avoir une densité de 1,8 par exemple, tandis qu'un calcaire compact atteint 2,3 et un basalte près de 3. L'appareil de mesure est le gravimètre, instrument délicat et sensible, qui, dans son principe, est analogue à un « peson » (page 108). En effectuant certaines corrections, il est possible de calculer en chaque point de mesure l'anomalie de Bouguer (1), c'est-à-dire la différence entre la valeur théorique de la pesanteur, g, et la valeur mesurée. On dresse alors pour la région étudiée une carte d'égale valeur de cette anomalie et on l'interprète en supposant que les anomalies sont dues à des déformations ou des variations de nature des terrains.

La méthode magnétique

Les variations de susceptibilité magnétique des roches sont à la base de la *méthode magnétique ;* ces variations sont considérables car, si les terrains sédimentaires ne sont pratiquement pas magnétiques, les roches volcaniques et certains minerais possèdent un magnétisme très intense. En recherche de pétrole, on établira à l'aide des mesures faites sur le terrain une carte des valeurs magnétiques analogue à la carte de Bouguer. Cette carte est essentiellement influencée par les contrastes de magnétisation des compartiments du socle éruptif. Moyennant certaines hypothèses, il est posssible de calculer la profondeur du bassin sédimentaire.

La méthode électrique

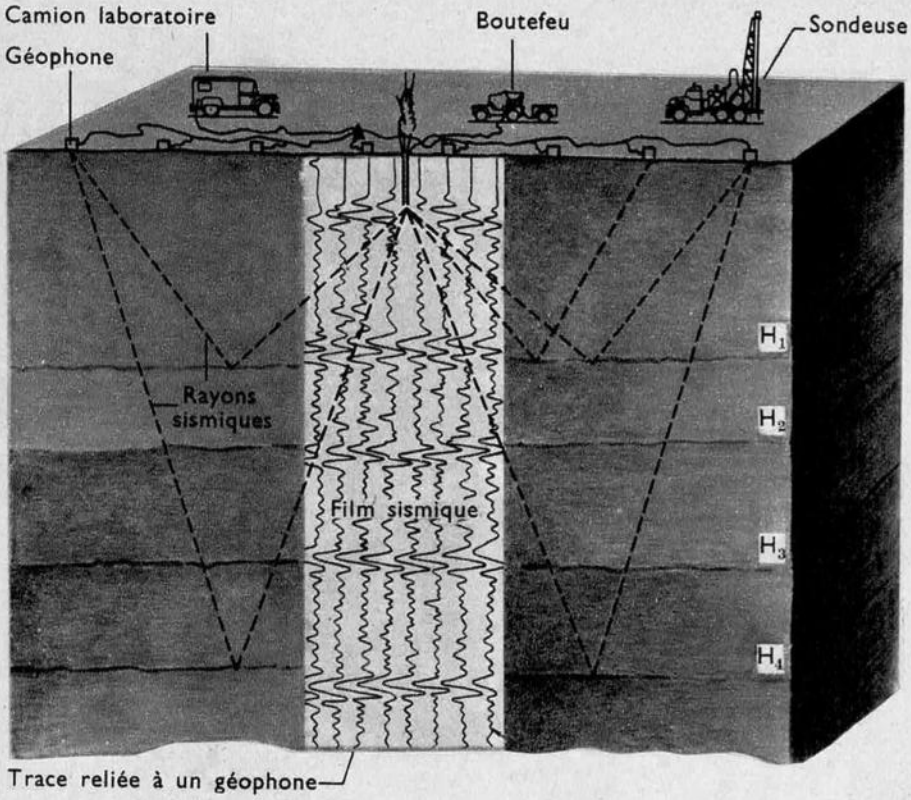
La *résistivité* des terrains, ou son inverse, la conductivité, est un paramètre qui varie très largement, d'où l'idée de l'utiliser en

(1) Du nom d'un physicien français du XVIIIe siècle.

Cliché B.R.P.

Un topographe abrité sous son parasol

prospection. Si une nappe de courant circule dans un terrain conducteur au-dessus d'une structure à noyau résistant (fig. 3, page 109), les filets de courants se resserrent au-dessus de la structure et la densité de courant par élément de la surface de la section A sera moindre que dans la section B. Des mesures en surface, accompagnées d'hypothèses sur les valeurs des résistivités, permettent à l'aide d'abaques calculés à priori d'estimer la profondeur du noyau résistant. Si la nappe de courant est produite par deux électrodes d'envoi de courant, la méthode est appelée « sondage électrique ». Il est possible également, dans certains cas, d'utiliser les nappes de courant naturelles : c'est la méthode par courants telluriques, dont le principe ne diffère pas du sondage électrique, en supposant les électrodes d'envoi de courant à l'infini.



Principe de la méthode sismique - réfraction

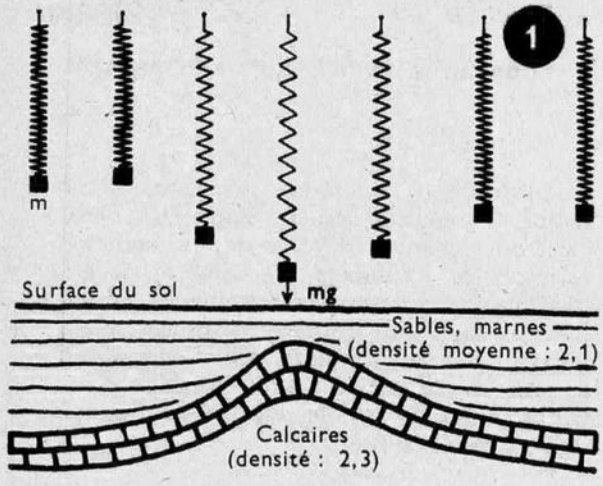
Principe de la méthode sismique - réflexion

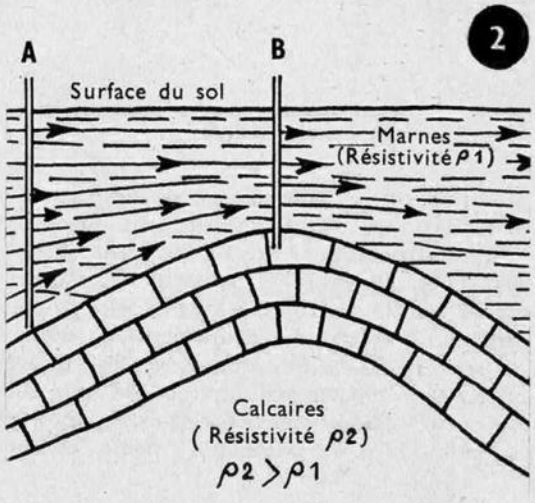
La méthode sismique

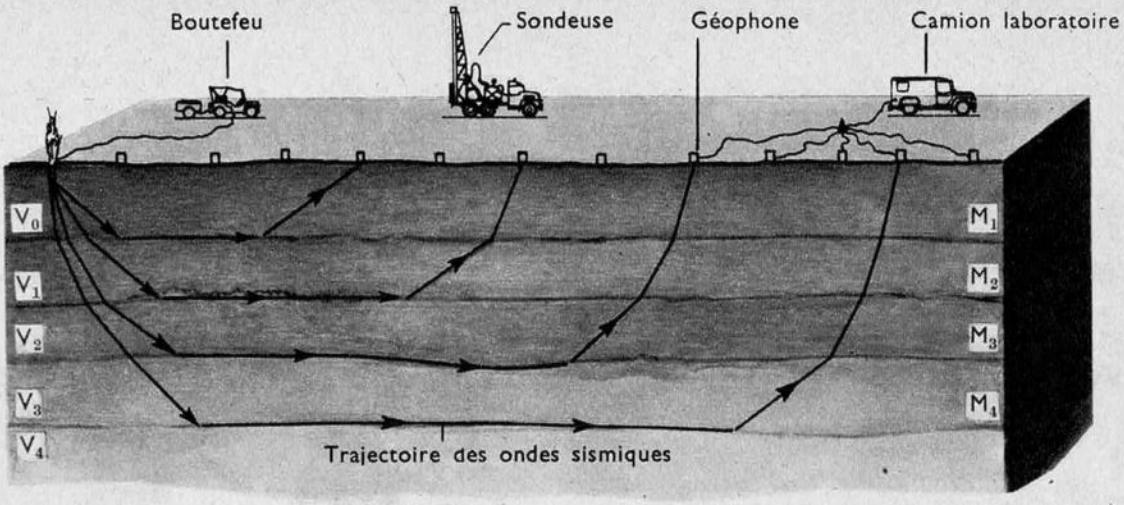
Enfin, la vitesse de propagation des ondes acoustiques est le paramètre le plus employé en prospection, dans la méthode dite *sismique*. Les ondes sont le plus souvent engendrées par le tir d'une charge d'explosif placée dans un ou plusieurs trous, tir qui crée dans le sol des ébranlements analogues aux séismes. En surface, les ébranlements en retour sont recueillis par des géophones, petits séismographes très robustes et très sensibles, transmis à un camion laboratoire, amplifiés, filtrés et enregistrés.

Les interfaces entre terrains où les vitesses de propagation des ébranlements ont des valeurs différentes fonctionnent soit comme des «miroirs» (cas de la « sismique réflexion »), soit comme des « marqueurs », le trajet des rayons comportant une double réfraction (cas de la « sismique réfraction »).

La comparaison des temps de trajet le long d'un profil comportant un certain







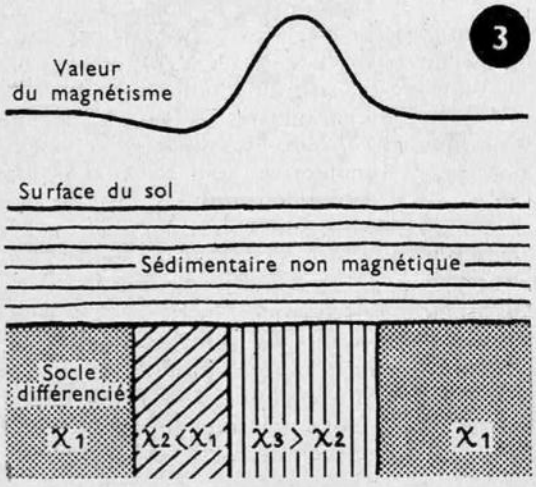
nombre de trous alignés permet d'esquisser l'allure des horizons réfracteurs ou réfléchissants.

Toutes les méthodes que nous venons de citer sont autant d'outils entre les mains du géophysicien; mais ces outils ne sont pas tous équivalents. La gravimétrie, le magnétisme et les méthodes électriques sont essentiellement des techniques de reconnaissance, généralement peu précises mais aussi peu coûteuses et permettant de couvrir rapidement de vastes étendues. La recherche de structures précises et leur étude détaillée est surtout l'affaire de la sismique réflexion, parfois de la sismique réfraction.

La géophysique proprement saharienne

Voyons maintenant quelles applications de ces méthodes ont été faites au Sahara. On peut dire que tout a été essayé, mais des questions d'efficacité technique et de rentabilité ont amené rapidement à faire un choix entre les procédés à utiliser et à modifier la mise en œuvre classique afin de l'adapter aux conditions sahariennes.

Tout d'abord, il nous faut distinguer deux zones dans le Sahara pétrolier : le Sud, à la bordure du Hoggar et généralement des massifs cristallins, où la couverture secondaire des terrains primaires est inexistante ou peu épaisse (jusqu'à 1000-1500 m), et le Nord où cette couverture est plus importante et comporte à sa base plusieurs centaines de mètres d'argiles fortement salifères. Ces conditions schématiques expliquent le succès ou l'échec des techniques appliquées. Dans le Sud, le primaire sera généralement plus dense et plus résistant que la couverture; la gravimétrie de reconnaissance (1 station pour 2 à 4 km), par exemple, décèlera ses mouvements et sera un bon guide pour l'implantation de la sismique de détail. Il en est de même dans



1

***LA GRAVIMÉTRIE** utilise les différences de densité entre les roches; le gravimètre, analogue à un « peson », est un instrument très sensible qui permet de déceler toutes les anomalies de la pesanteur.*

2

***LA MÉTHODE ÉLECTRIQUE** permet, en mesurant les densités de courant au-dessus d'une structure à noyau résistant, d'évaluer sa profondeur. La méthode tellurique utilise les nappes de courants naturels.*

3

***LA MÉTHODE MAGNÉTIQUE** met en évidence les contrastes de magnétisation des compartiments successifs du socle éruptif et permet de calculer avec assez d'exactitude la profondeur du bassin sédimentaire.*

Les topographes partent effectuer des relevés pour un tir sismique

une certaine mesure des méthodes électriques. Si le champ d'Edjeleh est dans une structure visible en surface, la plupart des structures forées au nord de cette dernière dans le bassin de Fort-Polignac ont été repérées selon ce processus, dont la découverte de Zarzaïtine prouve le succès.

Au Nord, dans la région comprise entre le parallèle d'Hassi Messaoud et Laghouat, la gravimétrie s'est montrée décevante; d'énormes anomalies marquent la carte de Bouguer, mais elles reflètent l'agencement de gros compartiments du socle éruptif et ne sont pas en relation directe avec les mouvements du primaire. Cet échec est dû à divers facteurs : trop grande profondeur, présence de sel, faibles pendages (inclinaisons) des structures. Dans ces conditions la méthode de sismique réflexion se révéla lente, difficile à mettre en œuvre, et par suite inadaptée à une reconnaissance rapide du bassin. Finalement, le dégrossissage fut effectué à l'aide de grands profils de sismique réfraction; le toit de l'Ordovicien (étage du primaire) et le toit du socle constituèrent en effet sur une vaste étendue deux marqueurs relativement fidèles, de vitesse voisine de 6000 m/s. Ce sont deux profils de réfraction qui ont mis en évidence les points hauts de Hassi Messaoud et de Hassi R'Mel et ont par la suite conduit aux succès que l'on sait. Cette technique de reconnaissance

(Documents Compagnie Générale de Géophysique)

Le forage à l'air comprimé dans une dune

L'explosion et son nuage de sable

L'ÉQUIPE SISMIQUE

Cette équipe est extrêmement mobile car il s'agit de ratisser systématiquement une zone, parfois très vaste, à l'aide d'un ensemble de séismographes qui recueillent les échos de secousses sismiques provoquées artificiellement par des charges d'explosif. Les topographes doivent chaque fois procéder au relevé du terrain ainsi qu'à l'implantation du dispositif. Des trous de 10 à 80 m de profondeur sont forés, dans lesquels on enfouit les charges. C'est alors la succession des explosions et l'enregistrement de la réaction des séismographes.

Doc. Rogers

***UNE FOREUSE LÉGÈRE** en action. Montée sur camion, cette machine qu'emploient les équipes sismiques utilise un foret rotatif avec de l'air comprimé.*

a donc trouvé une justification éclatante, mais elle manque de précision. Aussi de nouveaux essais plus poussés de sismique réflexion ont-ils été effectués et ont amélioré sensiblement les résultats; toutefois, à l'heure actuelle, l'obtention de réflexions valables en provenance de l'infra-salifère reste un problème délicat. Parallèlement, le fait que l'horizon productif d'Hassi Messaoud, le Cambro-ordovicien repose immédiatement sur le socle, a amené à entreprendre une couverture magnétique de toute la zone nord, actuellement en cours de réalisation. Nous avons vu que cette méthode permet, moyennant certaines hypothèses, de dresser une carte du socle et, par conséquent, de repérer ses points hauts intéressants. Dans les autres bassins (Reggane, Tindouf), tous les outils géophysiques ont été employés, généralement avec succès. En bref, du point de vue strictement technique, on peut dire que la reconnaissance du Sahara du Nord par sismique réfraction est une réalisation absolument originale dans l'histoire de la recherche de pétrole.

La mise en œuvre des diverses méthodes géophysiques au Sahara a nécessité de nombreuses adaptations.

Le repérage de la gravimétrie

En gravimétrie, le problème essentiel a été celui de la topographie. Tandis qu'en France il est simple de se repérer et de rattacher ses observations au Nivellement Général, rien d'analogue n'est possible au Sahara. Pratiquement, il a fallu couvrir les bassins de canevas de points astronomiques et recouper tous les cheminements possibles, afin d'éviter les « erreurs de fermeture ». Les équipes travaillant la plupart du temps avec deux ou même trois gravimètres ont couvert des surfaces énormes, balisant les stations et servant ainsi indirectement à l'implantation des prospections ultérieures. La figure page 107 montre au travail l'homme-clef : le topographe. Sur les plateaux rocheux (hamadas ou regs), l'avancement mensuel est très bon et une équipe mesure 500 stations par mois avec un seul gravimètre; mais dans certaines régions sableuses (ergs), la progression doit se faire à dos de chameau et le rendement est beaucoup plus faible.

Magnétisme aéroporté

On profite souvent des travaux de topographie nécessités par la gravimétrie pour effectuer simultanément, une station sur

deux, la mesure du champ magnétique (composante verticale ou horizontale) avec un instrument appelé balance de Schmidt; ces mesures sont utiles, car l'apparition simultanée d'une anomalie sur la carte gravimétrique et la carte magnétique permet en général de l'attribuer à une différenciation du socle, et donc de l'éliminer en tant que structure. Toutefois ce procédé est lent.

Au Sahara, on a utilisé une autre technique, consistant à mesurer le champ magnétique total à l'aide d'un magnétomètre (type Gulf) remorqué par un avion. L'appareil se repère en prenant un enregistrement continu sur film de 16 mm de la portion de terrain qu'il survole; ce film servira à situer le profil sur une « mosaïque », de photographies aériennes. Le magnétisme aéroporté, qui permet de couvrir très rapidement de nombreux kilomètres de profil, convient parfaitement pour la reconnaissance des immensités sahariennes.

Les équipes sismiques

Le rôle de la sismique reste cependant capital. Nous avons vu comment la réfraction avait concouru à la reconnaissance du Sahara du Nord. Des dispositifs comprenant 18 géophones espacés de 350 m ont été exploités avec des distances de tir variant entre 5 et 40 km. Au début, en 1952-1953, les charges nécessitées par l'exploitation d'un seul dispositif atteignaient 2 ou 3 tonnes, la charge unitaire par tir étant couramment de 1 tonne. En renforçant la sensibilité des instruments, en multipliant le nombre de géophones branchés sur la même trace, on a abaissé ce chiffre à 200 kg environ. Toutefois, dans le budget mensuel d'une équipe, qui s'élève à 55 millions environ, la dépense de dynamite peut atteindre 15 millions. L'ampleur du dispositif d'exploitation a conduit à une généralisation des communications par radio entre les divers éléments de l'équipe : chef de mission, opérateur dans son camion-laboratoire, boutefeu, foreurs. Certaines équipes comportent deux laboratoires. L'équipe double ainsi constituée compte, avec ses manœuvres, 100 personnes et une trentaine de véhicules; c'est le type d'équipe le plus lourd du monde.

Le « tir en l'air »

Les équipes de réflexion sahariennes sont aussi considérablement renforcées par rapport au schéma classique utilisé en Métropole. Un premier problème est celui du forage. L'absence d'eau oblige à forer à l'air, avec des sondeuses ordinaires, mais dont la pompe à boue est remplacée par un puissant compresseur. Les terrains de surface au Sahara sont très hétérogènes sous un aspect de grande monotonie; au milieu de remplissages sableux émergent des sortes de tables calcaires et comportant souvent des silex ou d'autres constituants très abrasifs. Dans certaines régions, les rendements de forage se sont révélés si déplorables qu'on a dû renoncer à tout forage; c'est la technique dite du « tir en l'air »; le point de tir, au lieu d'être inclus dans la ligne des géophones, est décalé latéralement d'au moins 1 km, ceci afin d'éviter l'arrivée de l'onde aérienne avant 2,5 secondes, partie utile du film. Le tir en l'air ne convient pas quand les pendages sont trop forts, car l'inclinaison des rayons favorise les arrivées aberrantes et les diffractions. Les meilleurs rendements mensuels, en kilomètres de profils réalisés, ont été obtenus par l'emploi du tir en l'air; inutile d'ajouter que le tir en l'air ne peut être utilisé dans les zones habitées et qu'il est donc assez caractéristique du désert.

D'autres techniciens ont été amenés à modifier la technique dans une autre direction. Afin d'augmenter le rapport de l'intensité du signal réfléchi aux parasites qui constituent une sorte de bruit de fond, on a multiplié très largement le nombre des trous d'explosion et celui des géophones branchés sur la même trace. On est allé jusqu'à 100 trous à 1 m, et 120 géophones par trace. Cette « super-multiplication » a entraîné, là encore, une modification du forage; les nappes de plusieurs dizaines de trous sont forées à l'aide de marteaux perforateurs montés sur des véhicules légers. Dans certaines zones, ce système est le seul qui fournisse des résultats.

Le « weight-dropping »

Enfin, la Cie des Pétroles d'Algérie, filiale de la Shell, a introduit en 1957 une technique nouvelle, connue et exploitée aux États-Unis, non seulement par la Shell, mais aussi par diverses autres Sociétés et en particulier un entrepreneur (Mc Collum) : le weight-dropping (1). Dans ce procédé, l'énergie envoyée dans le sol est produite non par l'explosion d'une charge de dynamite, mais par la chute d'un poids de plusieurs tonnes d'une hauteur

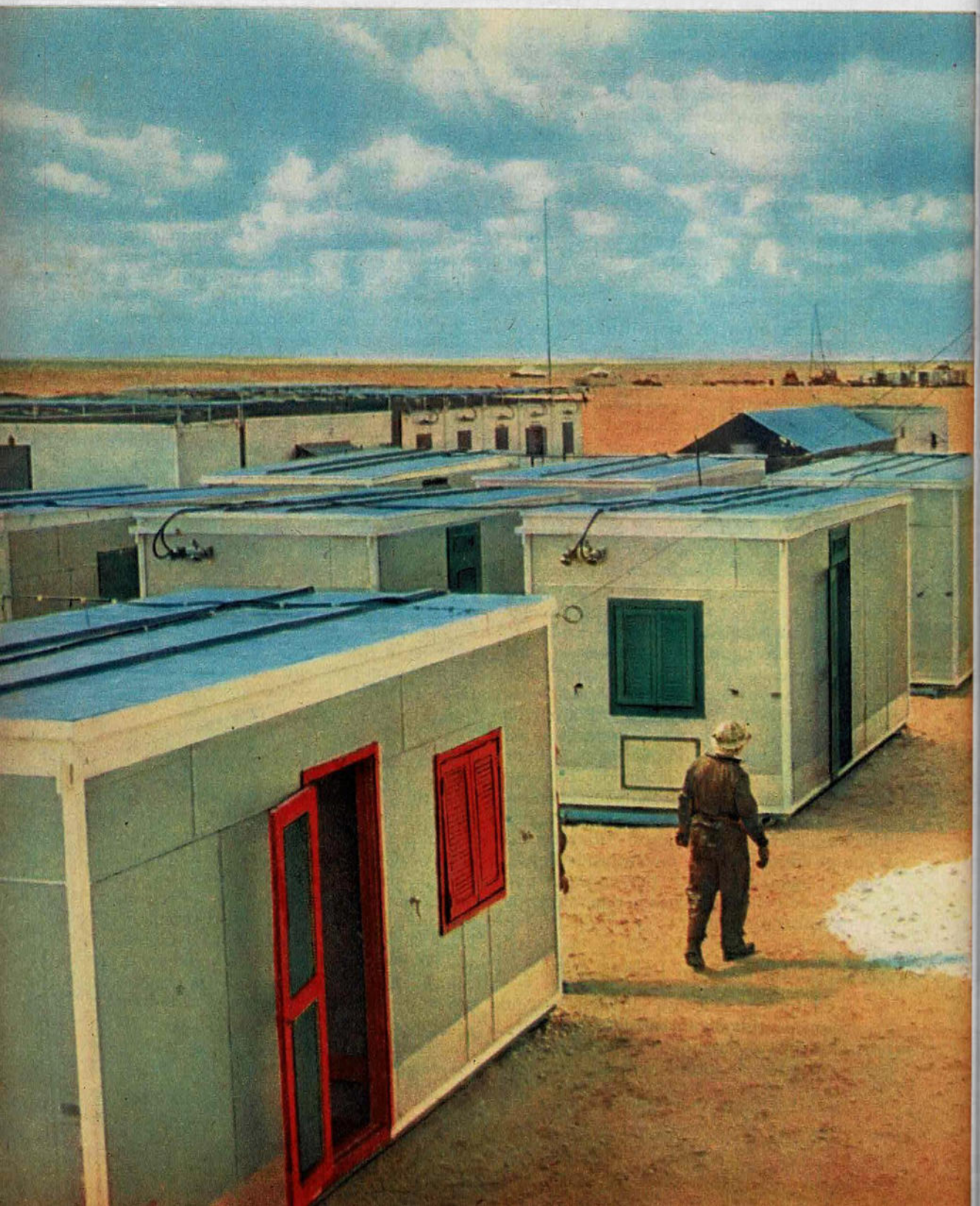
1) de l'anglais : « weight » = poids, et « to drop » = laisser tomber.

SUITE PAGE 115

Le camp volant de MD3 dans

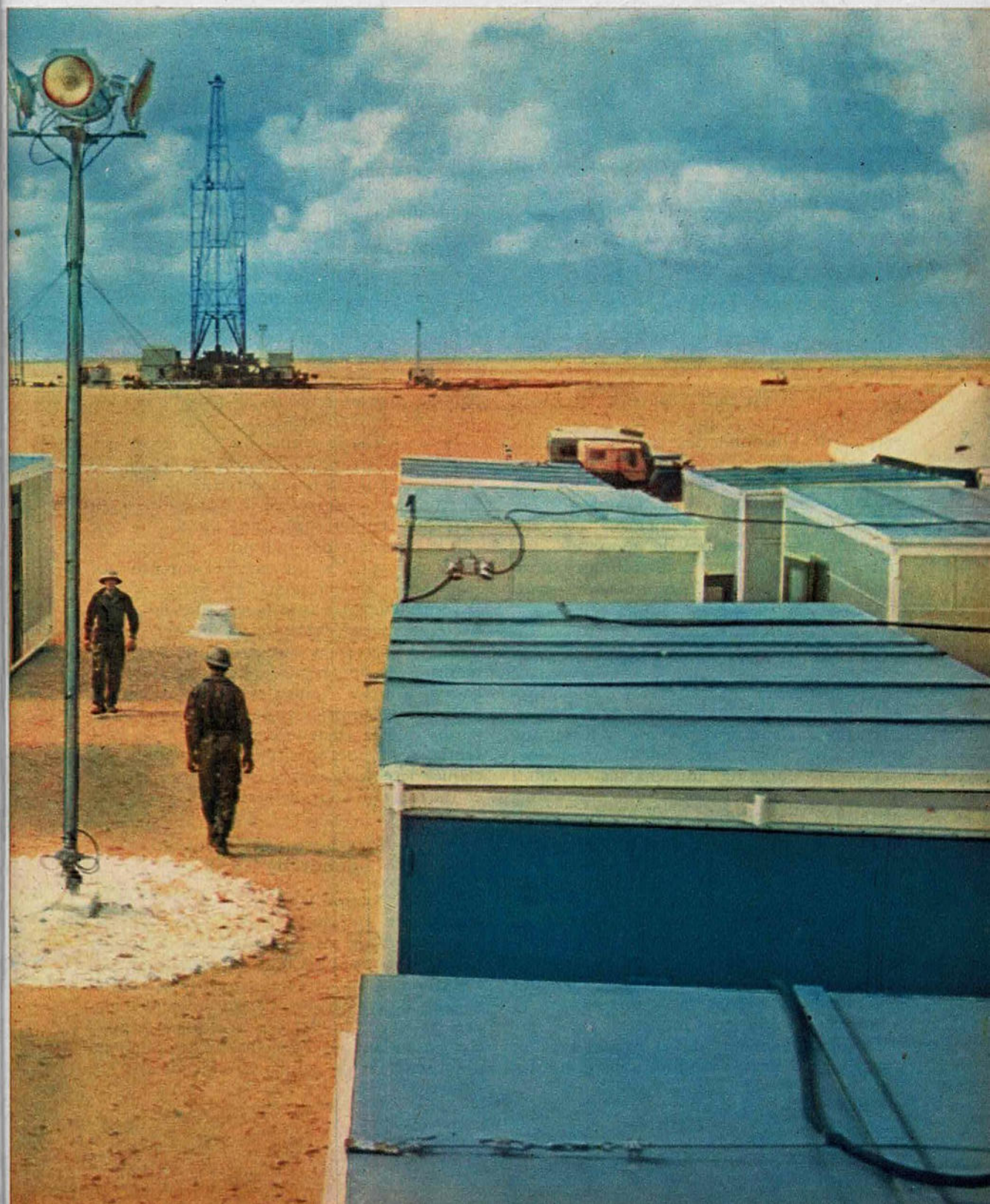
Comme tous les appareils de forage, celui de MD3, dont on aperçoit le derrick à l'arrière-plan, travaillait sans interruption jour et nuit, 24 heures sur 24. Pour que les équipes puissent trouver du repos sans être troublées par le bruit, le camp n'a pas été installé à son voisinage immédiat. Cependant, pour que les relèves s'effectuent

Doc. SN Repal



la région de Hassi Messaoud

sans exiger de trop longs déplacements, la distance du camp au derrick ne dépasse pas quelques centaines de mètres. On voit au premier plan les cellules climatisées pour le logement du personnel ; posées à même le sol sur de simples skis tubulaires, elles sont aisément transportables sur les plateaux des camions ou des remorques.



LE CAMION DU «WEIGHT-DROPPING»

Le principe de cette technique est une variante de la prospection sismique aujourd'hui classique. L'énergie envoyée dans le sol est ici produite par la chute d'un poids de plusieurs tonnes que l'on voit à gauche à mi-chute et, à droite, atteignant le sol avec fracas.

SUITE DE LA PAGE 113

de plusieurs mètres. L'impulsion produite par la chute est faible, aussi est-il nécessaire de la répéter un certain nombre de fois et d'additionner les signaux recueillis par les géophones. Ce procédé réalise donc par là même une sorte de multiplication analogue à l'emploi d'un grand nombre de trous tirés simultanément avec également un grand nombre de géophones par trace. L'emploi d'une telle technique n'est possible qu'à cause des conditions désertiques.

Comment vivent les géophysiciens au Sahara

Une équipe sismique compte en moyenne, au Sahara, deux à trois ingénieurs, une dizaine de techniciens, calculateurs, opérateurs, foreurs, mécaniciens, et quelques dizaines de manœuvres; pour les autres méthodes, les chiffres sont à diviser par deux. Généralement, ces hommes ne vivent pas dans les oasis, mais en camp, au voisinage de leur lieu de travail. Des liaisons radio journalières relient les camps isolés aux oasis et postes militaires. Souvent, en particulier en gravimétrie, l'équipe est scindée en échelons secondaires, également reliés par radio à la base principale, et qui effectuent des sorties de 8 à 10 jours et rentrent exploiter leurs mesures.

Le ravitaillement des équipes est un problème délicat; la multiplication des liaisons aériennes a permis de mieux approvisionner les prospecteurs en vivres frais; des camions gros porteurs relient les aérodromes et les marchés, tels que Ouargla, Ghardaia, Touggourt, aux équipes. Les camions transportent également les citernes d'eau potable indispensables. On est confondu par la qualité de la nourriture et le confort du campement offert aux prospecteurs dans le Sahara. Mais il faut se garder d'y voir un luxe exagéré. En effet, une campagne saharienne dure 9 mois, de septembre à mai; un congé de détente de 3 semaines l'interrompt vers février, mais le reste du temps les prospecteurs travaillent 7 jours par semaine, ne trouvant comme détente que les repas et les jeux de boules, de cartes ou d'échecs.

Notons que le climat du Sahara est très sain, mais très contrasté; en hiver, il gèle la nuit, et à midi, la température est de 25°. Ce contraste subsiste en été, en se décalant vers des températures plus hautes. Il agit sur le caractère des individus qui n'apprécient pas tous la vie communautaire qui leur est obligatoirement imposée.

Inutile de dire que la famille des prospecteurs mariés est loin, en France ou au moins à Alger, et que le courrier est attendu avec impatience. Les fins de campagne, où les véhicules sont en piteux état, les hommes fatigués et impatients, tandis que la chaleur commence à se faire sentir, sont une épreuve très dure qui réclame des chefs responsables une fermeté et une ténacité exemplaires.

L'effort accompli jusqu'au début de 1958

La prospection géophysique a démarré au Sahara en 1951. Au départ, la gravimétrie et le magnétisme ont joué un rôle important, puis leur emploi a régressé au cours des dernières années, la reconnaissance générale étant pratiquement achevée. La sismique est en croissance rapide, correspondant à l'exécution de plus en plus générale de campagnes de détail.

Photo GAETA - C.P.A.

Depuis les découvertes spectaculaires de 1956, les organismes de recherche ont reporté une large portion de leurs capitaux disponibles sur le poste forage, afin de développer rapidement les champs d'Edjeleh et d'Hassi Messaoud. Il ne faut pas perdre de vue qu'un forage à 4 000 m coûte autant qu'une campagne de sismique de 3 mois et qu'actuellement 9 appareils de forage lourds sont à Hassi Messaoud.

Indexées pour tenir compte des variations de la valeur de la monnaie, les dépenses de géophysique au Sahara atteignaient, au 1er janvier 1958, la somme de 24 milliards de frs, soit presque exactement le tiers de l'investissement global en prospection géophysique dans toute l'Union Française. Indiquons que cet investissement global géophysique correspond lui-même à 35 % environ des dépenses de recherche de pétrole réalisées selon les trois plans quinquennaux depuis 1946.

Au total, la prospection géophysique au Sahara peut être considérée comme un exemple particulièrement frappant d'efficacité. En effet, en moins de six ans, dans un bassin dépourvu d'indices et que les augures étrangers les plus sérieux avaient condamné, des gisements considérables ont été découverts. Divers facteurs sont la cause d'un succès qui, dans le Nord au moins, est largement dû à la géophysique. Les appareils de prospection les plus modernes ont été employés, des moyens de transport et de ravitaillement considérables ont été utilisés. Rien n'a semblé trop énorme aux géophysiciens pour attaquer le Grand Désert. Ainsi des zones réputées infranchissables ont été progressivement battues par les équipes et les limites de cet infranchissable largement reculées. On peut dire que c'est la souplesse dont les géophysiciens ont su faire preuve dans le choix et l'adaptation des méthodes qui est le facteur fondamental du succès.

Pierre MOUSSEL
Ingénieur civil des Mines et E.N.S.P.
Géophysicien au Bureau de Recherches de Pétrole

Cl. Nougarède — CREPS

Le « brut » d'Edjeleh servi directement aux camions

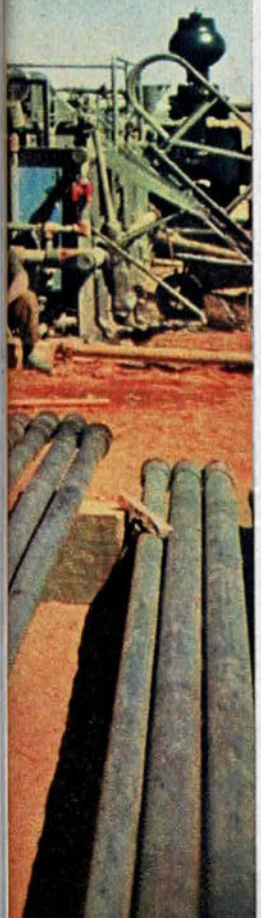
PÉTROLE

RÉSULTATS ET PERSPECTIVES DES RECHERCHES PÉTROLIÈRES

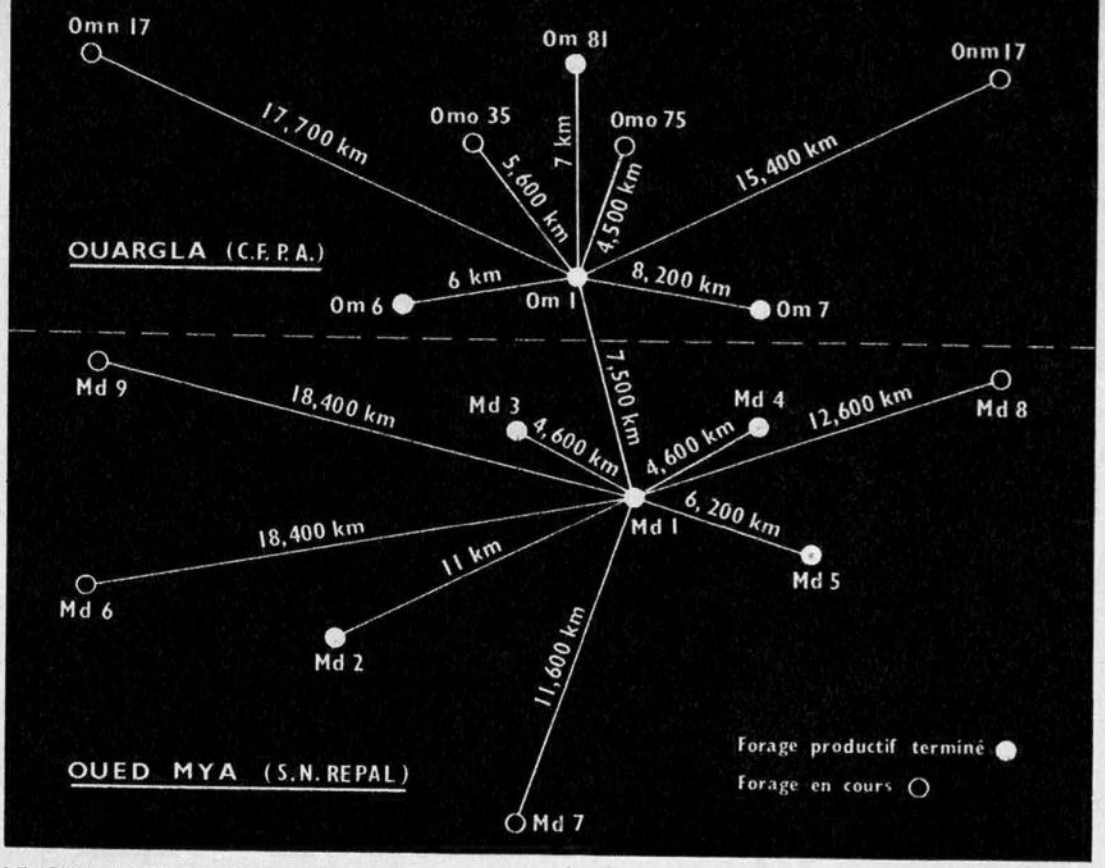
QUELQUES mois seulement après l'octroi de ses permis, la C.R.E.P.S. (Compagnie de Recherches et d'Exploitation du Pétrole au Sahara) découvrait en 1954 le gisement de gaz du Djebel Berga où les puits atteignaient un débit de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour.

En janvier 1956, cette même Société mettait en évidence sur ses périmètres orientaux, dans la région d'Edjeleh, un gisement d'huile, puis, quelques mois plus tard, à 70 km à l'ouest de ce gisement, une autre structure productrice à Tiguentourine.

Au mois d'août de la même année, la SN. REPAL (Société Nationale de Recherches de Pétrole en Algérie) qui travaille en association avec la C.F.P.A. (Compagnie Française des Pétroles d'Algérie) découvrait le gisement d'Hassi Messaoud à une centaine de kilomètres au sud-est de Ouargla. En novembre 1956,



La foreuse du puits 129 d'Edjeleh



***LE GISEMENT DE HASSI MESSAOUD** se trouve chevaucher les périmètres de deux compagnies, la SN REPAL et la CFPA qui poursuivent leur programme de forages suivant un plan commun. Les réserves prouvées du gisement sont de l'ordre de 300 millions de tonnes actuellement, et les forages en cours permettront de dire si la capacité du gisement n'est pas supérieure. On voit ci-dessus le détail de l'implantation des travaux. Il est prévu qu'en 1960 près de 50 puits auront été creusés pour fournir 4 millions de tonnes, puis 12 millions de tonnes en 1962.*

cette société mettait en évidence, à Hassi R'Mel, dans la région de Berriane, un gisement de gaz humide.

Ainsi, moins de cinq ans après le début des recherches au Sahara, la vocation pétrolière de cette région devenait une certitude, grâce à deux gisements de gaz (Djebel Berga et Hassi R'Mel), un gisement d'huile à Edjeleh dont l'importance vient d'être encore accrue par les récentes découvertes de Zarzaïtine, un gisement d'huile d'importance mondiale à Hassi Messaoud. Tous ces résultats ont été obtenus dans un temps record, grâce à des techniques mises au point en France et appliquées par des techniciens français.

Deux zones d'un intérêt pétrolier certain et un gisement de gaz : tels sont actuellement les centres d'intérêts sahariens.

Le Bassin de Polignac

Dès la découverte du gisement d'Edjeleh, la C.R.E.P.S. s'est heurtée à des problèmes difficiles, tenant tant à l'éloignement du gisement par rapport à la côte algérienne qu'aux difficultés d'accès de cette zone; le gisement est en effet situé à 1 200 km d'Alger par avion, et à 2 000 km par la voie terrestre.

L'Erg Oriental constitue un obstacle naturel considérable empêchant une liaison directe avec Edjeleh; il est donc nécessaire de le contourner. Des problèmes de transport se sont posés et se posent constamment dans cette région où les voies d'accès étaient inexistantes, ce qui a obligé la Société à créer des pistes et à les entretenir. La C.R.E.P.S. a dû également aménager des conditions de vie dans cette région inhospitalière. Elle a résolu un grand problème : celui de l'eau indispensable tant aux hommes qu'aux appareils.

La C.R.E.P.S. a, au milieu de l'année 1956, ouvert un aérodrome à Maison Rouge, sur lequel peuvent atterrir des Bréguet « Deux-ponts ». Les avions, dont le rythme actuel est de quatre par semaine,

apportent le matériel urgent, la nourriture et le courrier destinés au personnel, ainsi que tout le ravitaillement des 1 000 personnes qui travaillent actuellement dans cette zone. Quant au gros matériel, il est obligé de passer par In Salah et Fort Flatters, ce qui, à partir d'Alger, représente un parcours de 15 jours à 3 semaines.

Depuis le début des travaux de développement du champ, une trentaine de forages ont été terminés, presque tous productifs, ce qui a permis de délimiter les réserves qu'il est possible d'évaluer à une trentaine de millions de tonnes récupérables.

Si l'éloignement de la côte constitue une très grande difficulté, le gisement d'Edjeleh a l'avantage d'être situé à une profondeur relativement faible. En effet, les deux couches productrices se situent l'une à 450 m de profondeur, l'autre à 800 m.

Le débit de chaque puits peut être estimé de 20 à 25 tonnes par jour. La qualité de l'huile est exceptionnellement bonne; en effet, elle ne contient pas de soufre et sa densité est de 0,78.

200 puits en 1960

Les travaux d'extension du gisement se poursuivent activement afin d'obtenir, d'ici la fin de l'année 1959, le forage de près de 200 puits, ce qui permettra d'atteindre une production annuelle de 1,5 million de tonnes.

L'évacuation de cette huile pourrait se faire selon deux itinéraires :

— le premier, de 700 km de longueur, relierait Edjeleh par pipe-line à la côte méditerranéenne, et déboucherait soit en Tunisie, soit en Libye;

— le second, plus coûteux, exigerait la pose d'un pipe-line d'Edjeleh à Hassi Messaoud où il rejoindrait le pipe-line d'Hassi Messaoud à Bougie. Cette solution imposera un trajet double de celui qui conduirait le pétrole d'Edjeleh à la côte méditerranéenne, et présenterait de grandes difficultés pour la pose des tuyaux, car il serait nécessaire de traverser une grande partie du Grand Erg Oriental.

Le pipe-line, dont la pose doit commencer prochainement, sera d'un diamètre de 16 pouces (40 cm). Son coût est d'une trentaine de milliards.

Le coût d'extension du gisement d'Edjeleh s'élèvera à 9 milliards et les investissements d'exploitation à 18 milliards. C'est donc à une quarantaine de milliards que se monteront les dépenses d'investissements.

La récente découverte d'huile à Zarzaïtine (1 350 m), dont les premiers tests ont donné des résultats très intéressants, permet d'espérer que le bassin de Polignac pourrait contenir d'autres gisements et permettrait une production d'huile nettement supérieure à celle qui est envisagée pour 1960.

Le Bassin de Fort Lallemand

La découverte d'Hassi Messaoud, en 1956, a certainement constitué un événement de portée considérable. En effet, depuis cette époque, les forages d'extension ont prouvé qu'il s'agissait d'un gisement d'une très grande importance. A l'heure actuelle, neuf forages ont été terminés : 4 forages sur le périmètre de la C.F.P.A. et 5 sur le périmètre de la S. N. REPAL.

Le gisement est situé à une profondeur de 3 340 m; il contient une huile légère d'une densité de 0,80, très fluide, exempte de soufre. L'épaisseur du réservoir dépasse une centaine de mètres. Les travaux d'extension effectués à ce jour permettent d'avancer des réserves prouvées de l'ordre de 300 millions de tonnes. Les forages en cours, tant sur le périmètre de la C.F.P.A. que sur celui de la SN. REPAL permettront de dire, dans un proche avenir, si le gisement n'est pas de capacité largement supérieure.

En attendant la pose du pipe définitif, un pipe de faible dimension (6 pouces) a été posé d'Hassi Messaoud à Touggourt. De là, le pétrole est chargé dans des wagons-citernes jusqu'à Philippeville par Biskra. Pour permettre cette évacuation, la voie ferrée a été élargie entre Touggourt et Biskra. Le pipe transporte actuellement une moyenne de 600 t par jour, qui doit prochainement être portée à 900 t, puis à 1 200 t. Depuis le début de la mise en exploitation de ce petit pipe, 55 000 t avaient été produites au 1er avril par le gisement d'Hassi Messaoud.

Actuellement, 8 appareils forent dans cette région, afin de creuser les 50 puits nécessaires à la mise en production au début de l'année 1960. En effet, d'ici cette date, un pipe-line de 24 pouces reliera le champ d'Hassi Messaoud à Bougie. Ce pipe-line de 700 km de long permettra de débiter, dans une première phase, 4 millions de tonnes. Ce chiffre sera accru de 3 millions de tonnes chaque année, pour atteindre un débit de 12 millions de tonnes en 1962.

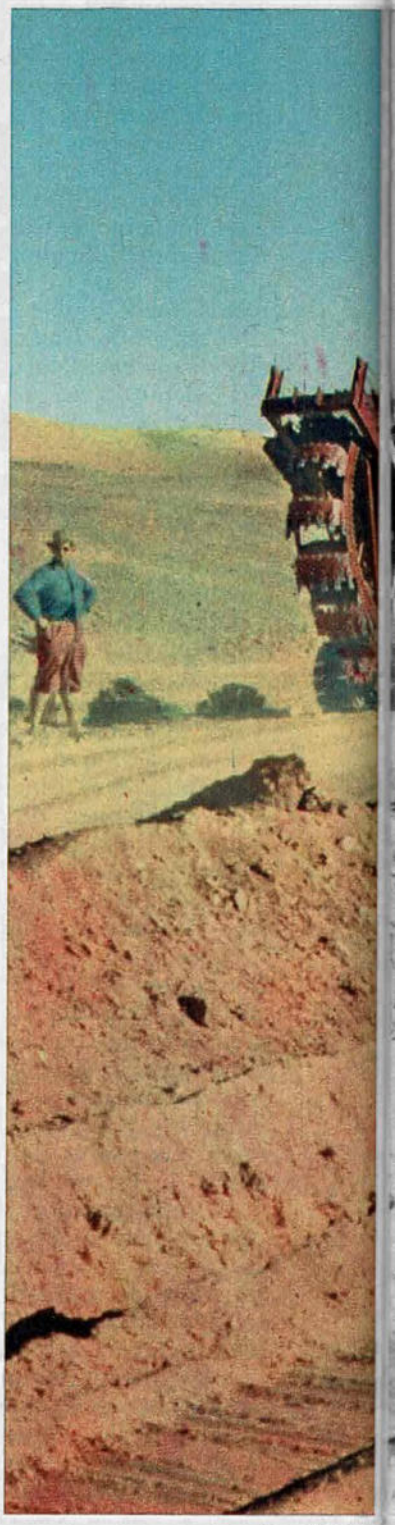
Les investissements nécessaires à la mise en production du champ d'Hassi Messaoud comprendront 30 milliards pour le développement du champ, ainsi que 36 milliards

SUITE PAGE 123

La pose du

La seule courbe du « pipe » de Hassi Messaoud

POUR la construction de ce pipe-line, il a été fait appel à deux sociétés : la GREP et la SOCOMAN. Grâce à l'emploi de machines ultra-modernes : « trancheuses », « poseuses », « enrobeuses », etc., le travail a été réalisé en 1 mois 1/2. Il ne s'agit cependant que d'un pipe-line de 6 pouces (15 cm) qui débite seulement 600 tonnes par jour actuellement, et en débitera prochainement le double. Le pétrole est transporté par chemin de fer de Touggourt à Philippeville, ce qui a exigé la mise à écartement normal de la voie. Un second pipe-line de 24 pouces (60 cm) est prévu jusqu'à la mer, de Hassi Messaoud à Bougie, soit 700 km environ. Il pourra transporter 12 millions de tonnes par an en 1962 et coûtera quelque 36 milliards de francs. L'utilisation du gaz du gisement de Hassi Messaoud pose le problème de l'implantation d'un pipe-line spécial et d'industries fortement consommatrices de gaz pour assurer la rentabilité de son exploitation.



Doc. SN Repal

pipe-line Hassi Messaoud à Touggourt

Une « trancheuse » au travail. Le sable est évacué latéralement

SUITE DE LA PAGE 121

pour le transport et 20 pour les investissements d'exploitation.

Le champ d'huile d'Hassi Messaoud est également valorisé par la possibilité d'utiliser le gaz naturel qui se trouve dans le gisement et par la récupération du butane et du propane; pour chaque tonne d'huile d'Hassi Messaoud, il est possible d'extraire 200 m³ de gaz, ce qui, dans la première tranche de 4 millions de tonnes prévues dès 1960, permettrait la production de 800 millions de m³ par an de gaz naturel. Cette production de gaz pourrait être portée à 2 milliards et demi de m³, avec une production de 12 millions de tonnes en 1962. Quant au butane et au propane, il serait possible d'en récupérer 10% de la production d'huile.

La présence de gaz à Hassi Messaoud permet d'envisager le transport jusqu'à la côte algérienne, et pose le problème de l'utilisation du gaz. Ce problème rejoint celui posé par le gisement de gaz d'Hassi R'Mel.

Le Tilrempt

La présence d'un gisement probablement considérable de gaz au Tilrempt (Hassi R'Mel), dans la région de Berriane, située à moins de 450 km de la côte méditerranéenne, pose également le problème de l'utilisation du gaz. Celui-ci est lié au développement de l'industrialisation de l'Algérie, ainsi qu'à celui des pays limitrophes. En effet, l'Algérie, dans l'état actuel de son équipement industriel, ne pourrait pas absorber plus de 500 millions de m³ de gaz par an. La nécessité s'impose donc de trouver des débouchés tant pour le gaz contenu

LE « SIDE-BOOM » ou grue qui est montée latéralement sur un tracteur, permet la mise en place des tubes dans la tranchée, leur cintrage ainsi que le déplacement progressif de l'enrobeuse tout le long du tube.

Doc. GREP

dans le bassin d'Hassi Messaoud, que pour celui livré par le gisement d'Hassi R'Mel.

Les résultats obtenus ne doivent pas faire oublier que la recherche doit se poursuivre et même s'intensifier dans les différentes zones du Nord Sahara. C'est ainsi que 8 sociétés nouvelles viennent d'obtenir des permis de recherches sur les surfaces rendues par la SN. REPAL et par la C.F.P.A.

Dans ces sociétés figurent des associations avec des sociétés étrangères, associations constituées de telle sorte que les capitaux étrangers ne soient pas majoritaires.

D'autres surfaces vont être distribuées au cours de l'année 1958. L'effort tant financier que matériel va encore s'intensifier dans les prochaines années. En effet, d'ici 1968, 250 milliards seront investis au Sahara tant pour le développement et l'exploitation des champs déjà découverts, que pour la poursuite et l'intensification des recherches. Une centaine d'appareils seront mis en place au Sahara en 1960. Près de 10 000 personnes y travailleront.

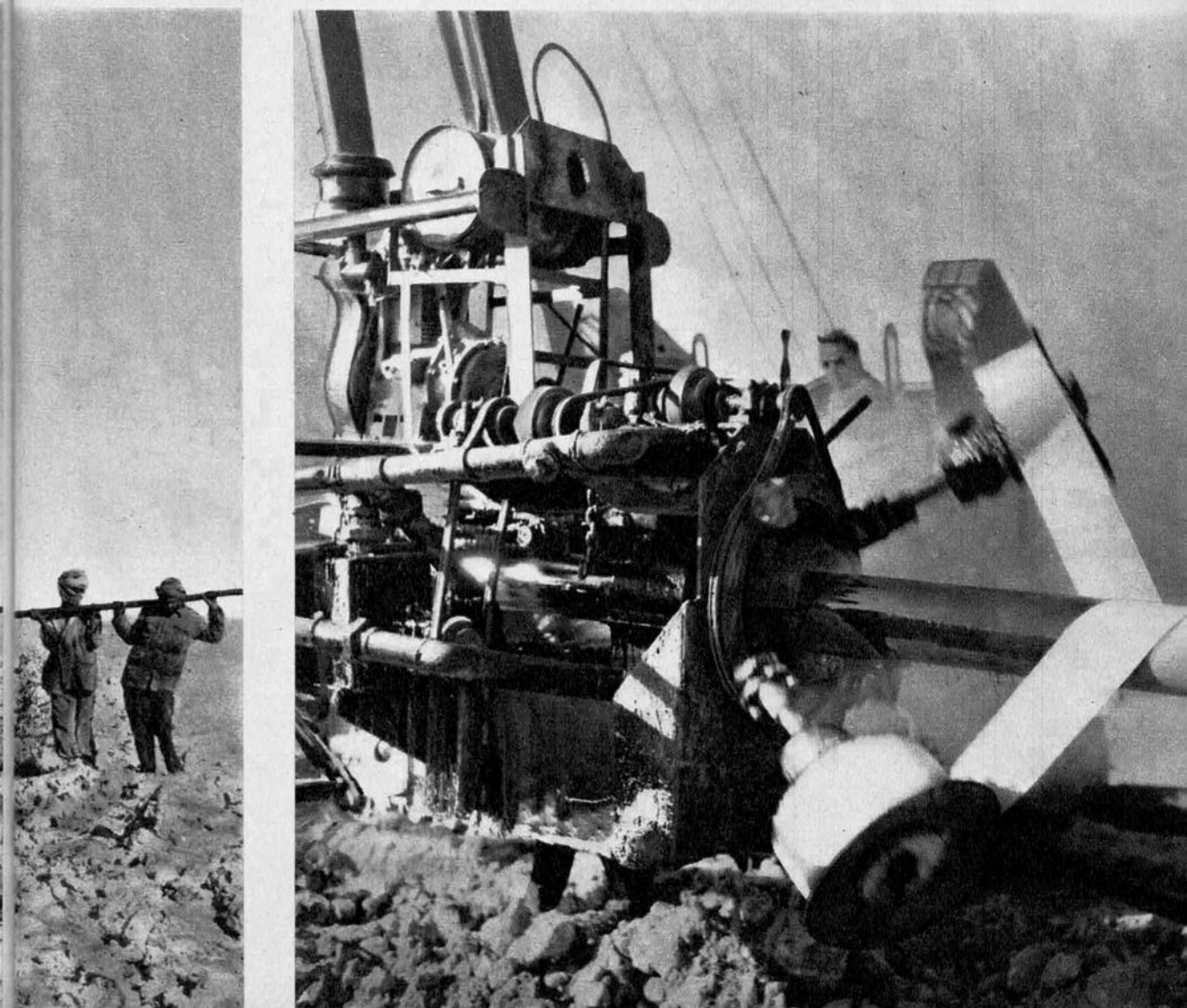
Cette mise en place du matériel et des hommes pose, pour l'avenir, des problèmes d'infrastructure aigus notamment en ce qui concerne les transports, dont le volume global dépassera un million de tonnes pour les années 1958 et 1959.

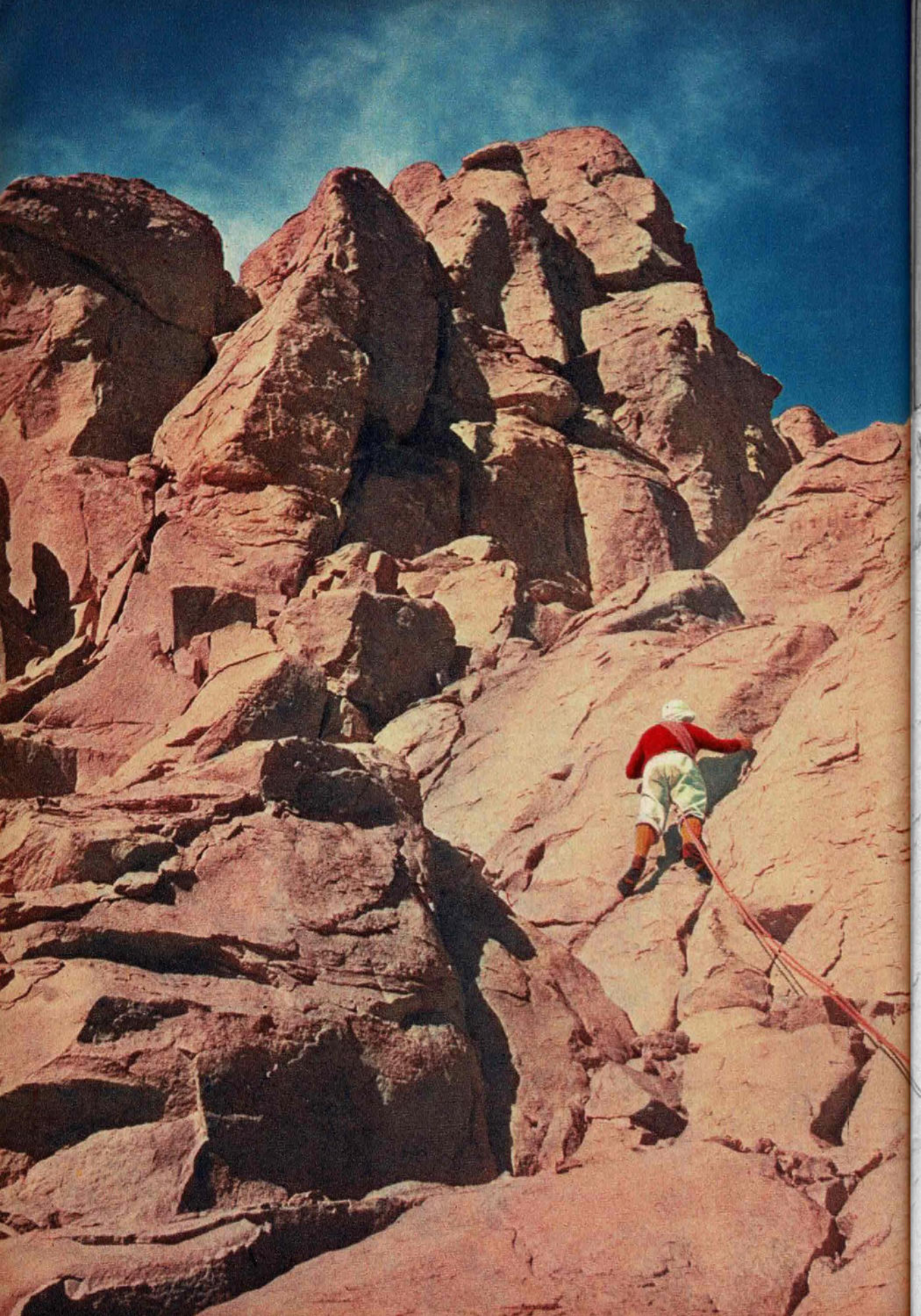
L'effort doit se poursuivre. La phase d'exploitation qui a commencé ne doit pas faire perdre de vue la prospection, le développement et l'infrastructure.

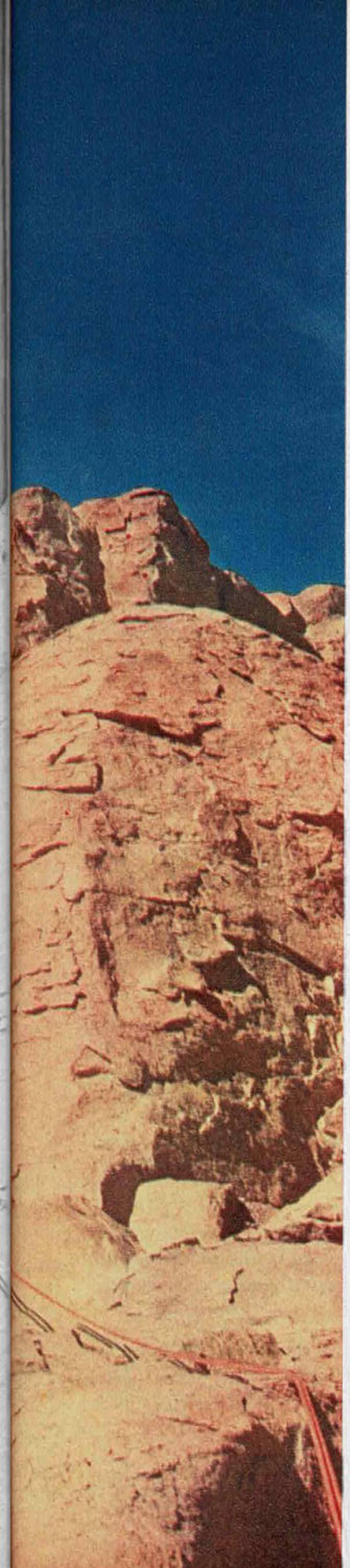
Il faudra encore fournir beaucoup d'efforts, investir de grosses sommes. L'œuvre sera longue, mais de sa continuité et de son intensité dépend le succès.

J. L. JAVAL, Chargé de Mission
du Bureau de Recherches de Pétrole

***L'ENROBEUSE** dépose à la surface du tube une couche d'asphalte et enroule autour de lui plusieurs bandes de tissus imprégnés de produits qui devront assurer son isolement du sol et sa protection contre la corrosion.*







L'alpinisme au HOGGAR

INCONNU du monde occidental, il y a encore un siècle, le Hoggar est aujourd'hui à notre porte.

Grâce à l'avion, 9 heures suffisent pour quitter les rives de la Seine, cet « oued toujours plein d'eau », comme je l'expliquai à un ami Targui incrédule, et planter sa tente sur les bords de l'Oued Tamanrasset, sans l'ombre d'un filet d'eau.

9 heures pour aller de la cohue des voitures des artères de notre capitale aux pistes solitaires du désert.

9 heures pour oublier l'agitation bruyante de Paris et s'étonner du silence du pays de la sainte retraite du Père de Foucauld.

Il y a 25 ans, aller au Hoggar était une aventure réservée à quelques spécialistes de l'exploration. En 1958, j'y conduisais 58 jeunes alpinistes du Club Alpin qui, en 15 jours, purent « râtisser » le massif de toutes ses voies et de tous ses sommets.

Il y a 7 ans, Bernard Pierre constatait que la célèbre parole de Paul Valery : « Le temps du monde fini commence », n'était pas vraie pour le Hoggar. Avec la fulgurante rapidité de l'évolution des temps modernes, 7 ans plus tard le célèbre alpiniste n'a plus

Escalade de la « Montagne des Génies »

raison : tous les sommets ont été gravis, par toutes les voies ! On peut écrire aujourd'hui le premier chapitre du « Vallot » saharien.

Situation géographique

Du point de vue politique, le Hoggar fait partie des Territoires du Sud-Algérien. L'annexe du Hoggar, la circonscription qui lui donne ses limites administratives, couvre environ 500 000 km², soit, à 10 % près, la superficie de la France métropolitaine. Elle est dirigée par l'Armée et le Chef d'Annexe est un officier méhariste qui exerce son pouvoir dans la limite des lois et règlements de l'Administration centrale sur les 12000 habitants qui vivent sur cet immense territoire désertique. Le Hoggar est aussi frontière de la Libye et de l'A.O.F.

Situé de part et d'autre du Tropique du Cancer (23° 37'), il est traversé par la grande piste saharienne qui par El-Golea, In-Salah, Tamanrasset, Agadès, unit Alger au Tchad et au Nigeria.

Du point de vue plus strict de la géographie, le Hoggar se limite à toute la zone intérieure des Tassili qui forment une muraille ceinturant cet ensemble montagneux. L'intérieur se divise en une zone typiquement volcanique, l'Atakor (Atakor-n-Ahaggar, ou crâne de l'Ahaggar), de 100 km de diamètre, et plus au Nord, le Tefedest, immense chaîne cristalline de 200 km, orientée Sud-Nord, qui à la Garet-el-Djenoun, plonge sur le plateau désertique.

Géologie du Hoggar

L'évolution géologique du pays est fort intéressante :

— à l'origine, le vieux socle granitique précambérien se trouve partiellement sous les mers. Des dépôts gréseux sous-marins se forment (les futurs tassili). Le Hoggar a donc été épargné par l'invasion marine du Crétacé moyen qui a recouvert tout le Sahara. Cet ensemble a été très faillé;

— au Secondaire, sous la pression du magma sous-jacent, le bombement amorcé à l'origine se soulève; c'est alors l'émission de coulées basaltiques fluides;

— au Tertiaire, le soulèvement entamé à la fin du Secondaire se poursuit, alors que les eaux dues au climat subtropical dégagent les tassili gréseux de bordure. L'érosion fait également son œuvre en ravinant les basaltes;

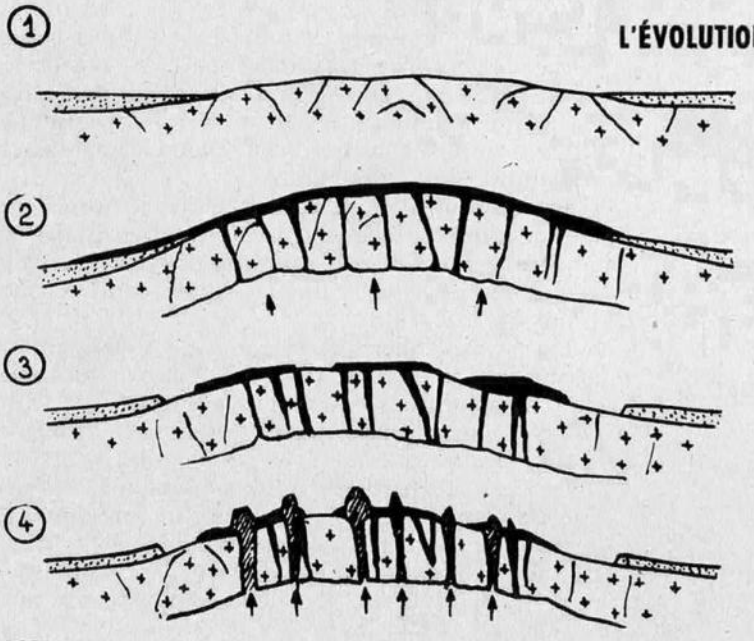
— au Quaternaire, une nouvelle et intense activité volcanique fait jaillir des culots de lave épaisse. Ce sont les restes érodés de cette période éruptive qui donnent le relief actuel. Les phonolithes (ou pierres qui font du bruit) sont très fréquentes. Elles résonnent lorsque les grimpeurs plantent les pitons d'assurance.

Structure actuelle

Cette histoire géologique mouvementée donne au relief les caractéristiques suivantes :

1° *Les dépressions* se sont formées où le socle précambérien affleure; c'est le cas à

L'ÉVOLUTION GÉOLOGIQUE DU HOGGAR



Le socle cristallin primaire et sa ceinture de dépôts gréseux.

Bombement tertiaire: émission de coulées basaltiques fluides.

L'érosion, due aux périodes à climat subtropical, dégage les tassilis gréseux de bordure.

Au quaternaire, des culots de lave épaisse jaillissent, et donnent le relief caractéristique actuel.

Type Adriane : culot et coulée

Type Akar-Akar : muraille genre « château fort »

Type Tigmal : culot vertical et pointe conique

Type Adade : aiguille cylindrique

Tamanrasset, à In Eker, au nord de la Garet-el-Djenoun. Des éclats granitiques émergent au-dessus des sables de décomposition.

2° *Des coulées* basaltiques aux formes tubulaires rappellent les éruptions du début du Tertiaire. Parmi les exemples les plus caractéristiques on peut citer l'Issekram, les plateaux au nord de Tamanrasset ou la coulée de l'Adriane.

3° Différentes sortes de sommets sont naturellement issues d'une telle complexité de roches où les formes structurales sont la conséquence combinée de la nature des roches éruptives soumises à l'action de l'érosion. Il faut noter que le socle cristallin et les premières coulées ont subi l'action des eaux sous un climat subtropical, alors que la dernière irruption ne semble pas avoir connu une action aussi puissante.

a) Type Adriane : avec culot vertical et une coulée basaltique;

b) Type Akar-Akar : coulée sortie verticalement et formant une muraille comme un château fort;

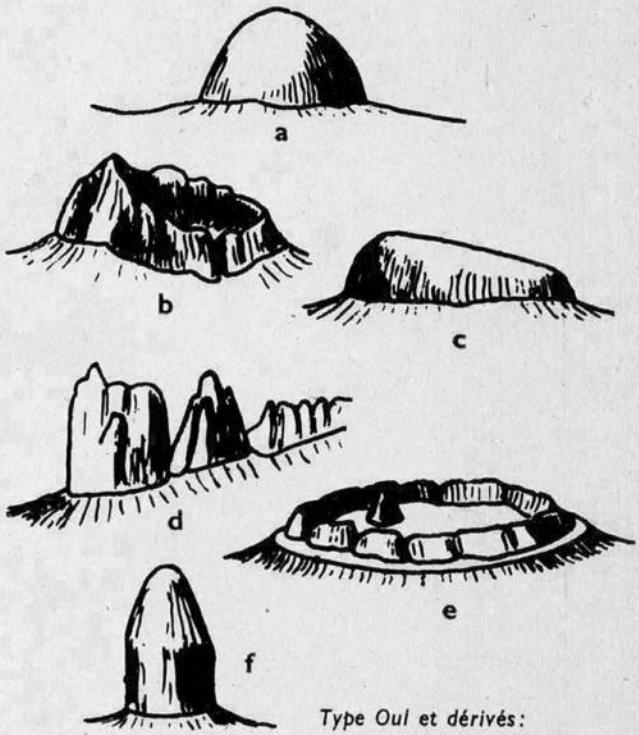
c) Type Tigmal : culot sorti verticalement couronné d'une pointe conique ;

d) Type Oul : caractérise les éruptions en forme de dômes. Cette forme primitive se présente sous différents aspects : le dôme parfait, l'Arouri-n-Aïhed au dôme éclaté, l'Assekrem au dôme affaissé, le « dyke », alignement d'aiguilles comme dans les Taridalts, le cratère explosé comme dans l'Imadouzène, et enfin le plus imposant de tous, l'Ilamane, type du dôme « écorcé »;

e) Type Adade : aiguille cylindrique émergée directement du seuil cristallin.

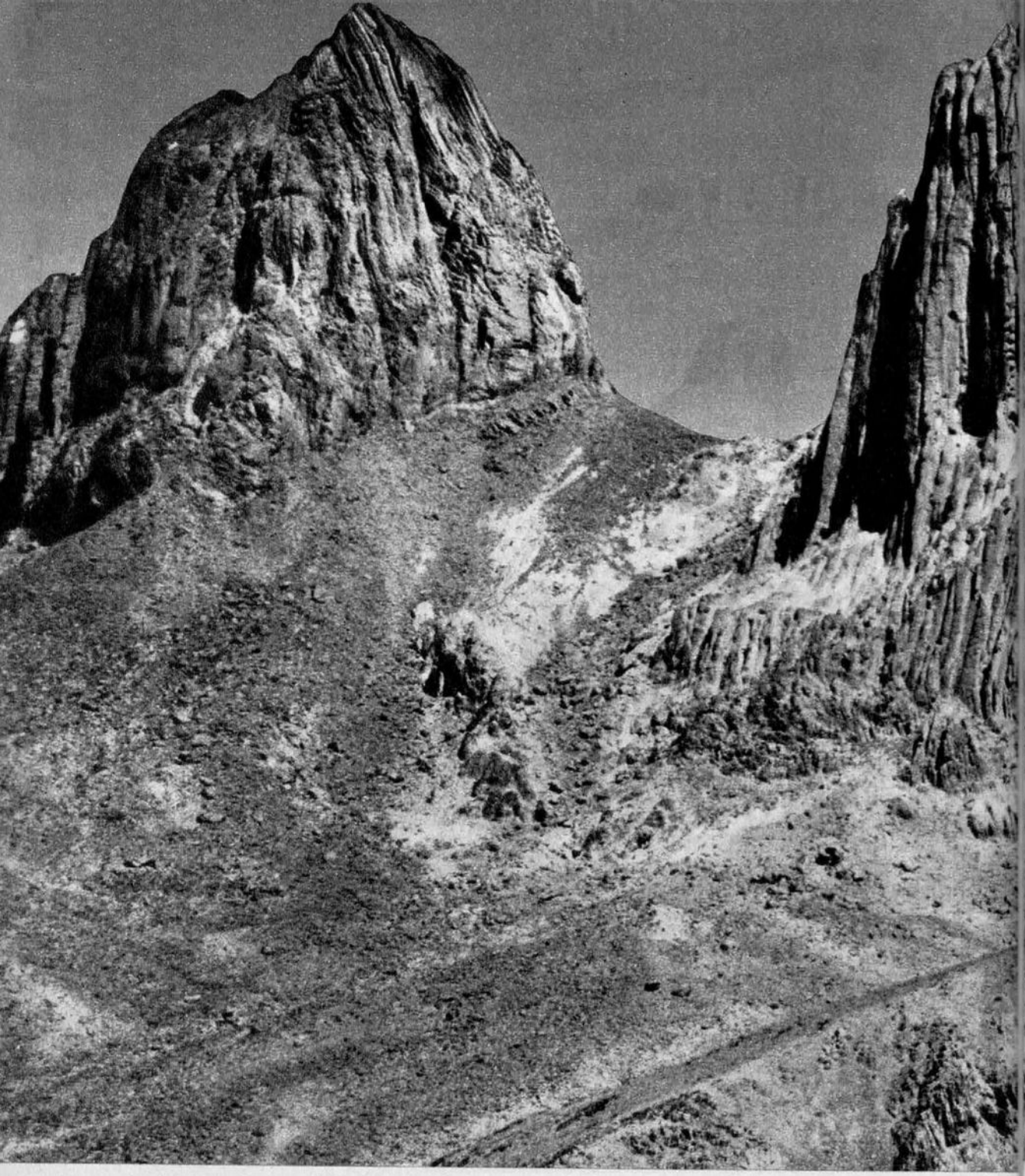
4° *Les vallées* sont d'origine récente et donc peu profondes. Elles divaguent, changent de lit : les cours d'eau multiplient les captures. Les oueds se présentent généralement sous forme de gorges souvent peu profondes. Les vallées sont parfois surimposées au relief primaire cristallin (type gueltas) et sont venues après la mise en place des roches. Elles ne se sont pas conformées à la structure existante.

Dans les régions non atteintes par les éruptions volcaniques, notamment vers la Garet, le système hydrographique a un comportement normal, s'adaptant parfaitement à la structure du relief.



Type Oul et dérivés :

a - *Oul : dôme parfait*
b - *Arouri-n-Aïhed : dôme éclaté*
c - *Assekrem : dôme affaissé*
d - *Taridalt : alignement d'aiguilles, ou « dyke »*
e - *Imadouzène : cratère explosé*
f - *Ilamane : dôme « écorcé »*



Ces grandes orgues basaltiques attes

L'activité volcanique a fait, à plusieurs reprises au cours des ères géologiques, jaillir des coulées de laves plus ou moins fluides auxquelles l'érosion a donné leurs formes caractéristiques actuelles: dômes, cratères, aiguilles, murailles, pitons au relief tubulaire, entre lesquels serpentent des vallées et des gorges capricieuses. L'altitude

tent l'origine volcanique du Hoggar

moyenne du massif est de 1 000 m environ et le point culminant, le Tahat, dépasse de peu 3 000 m. Les difficultés qui s'offrent à l'alpiniste ne proviennent donc pas de l'altitude, mais principalement de la nature du rocher qui présente parfois d'immenses dalles lisses, parfois des écailles calcinées et délitées par les écarts de température.

Le climat

On l'imagine aisément lorsque l'on sait qu'il ne pleut que quelques centimètres par an et que le Soleil est le maître absolu, faisant des jours brûlants et, une fois disparu, des nuits glacées.

Il est difficile d'imaginer qu'à l'époque tertiaire, la région du Hoggar, comme tout le Sahara, connut un climat du type subtropical, et ceci jusqu'au Quaternaire récent. Des vestiges en témoignent actuellement, notamment l'étonnante érosion et les multiples plages de sable qui rappellent l'abondance des eaux... à cet âge d'or.

Ce changement de climat est certainement dû à tous les phénomènes géophysiques qui bouleversèrent notre planète, dont la fusion des glaces quaternaires est un des plus célèbres effets. Peut-on rattacher ce changement de climat à la célèbre hypothèse des variations éventuelles d'axe de rotation de la Terre, et du déplacement corollaire des pôles ?

Un fait est là, indubitable, le Hoggar connaît aujourd'hui le type même du climat désertique après avoir connu un climat du type subtropical.

L'hygrométrie moyenne est de 23 % à 18 heures. Certains jours elle est voisine de 0. Il arrive cependant qu'elle connaisse des pointes élevées atteignant 60 à 80 % au lever du jour. J'ai connu une nuit de bivouac à l'Assekrem (2 700 m d'altitude), à la fin de laquelle mon sac de couchage était entièrement recouvert de rosée. Mais c'est un cas tout à fait exceptionnel. Les vieux sahariens ne manquent pas de le dire.

La température est relativement élevée. Elle connaît des pointes extrêmes : + 39° et — 6,6°. Au soleil, elle dépasse tout ce qu'il est possible d'imaginer : on peut faire cuire des œufs entre des pierres sous le soleil de juin, m'ont affirmé des vétérans méharistes.

En été, la moyenne des maximum se situe autour de 29° (jour + nuit). En hiver, elle revient à 13°.

Fin décembre, nous avions environ 20 à 21° le jour, et, la nuit, en altitude (à plus de 2 000 m), le thermomètre descendait jusqu'à — 10° à la Garet-el-Djenoun. Toutes nos gourdes avaient gelé.

Les pluies sont rares : 44 mm en moyenne annuelle, mais ce chiffre n'a aucune valeur réelle car elles sont irrégulières et quand il pleut, il pleut en été. En 1935, il tomba 6,4 mm; en 1949, 9,4 mm. Par contre, en 1933, le Hoggar reçut 159 mm et 141,1 mm en 1951. En 1957, on dit qu'elles furent abondantes. Les gueltas étaient pleines et le désert... nous apparut presque verdoyant ! Les épineux des oueds connaissaient un début de printemps, et les pâturages verdissaient !

Le rocher

Les appréhensions ne manquaient pas à toute l'équipe du Club Alpin. Après avoir ramené nos 58 participants sains et saufs malgré 50 premières, 300 voies d'escalades, on peut sans hésitation détruire le mythe du mauvais rocher au Hoggar. Certes la prudence s'impose là autant qu'ailleurs, plus qu'ailleurs peut-être, car les grimpeurs doivent s'habituer à la nature du rocher.

Le phénomène le plus souvent remarqué est un écaillage superficiel dû aux amplitudes thermiques. Ce phénomène s'observe tant sur les roches volcaniques d'origine basaltique que dans les phonolithes. Même les parois granitiques de la Tefedest sont toutes recouvertes de ces écailles calcinées.

Le gel et l'humidité relative ont façonné ces pièges pour les grimpeurs. C'est le cas plus spécialement dans les Tezouleghs et à la Garet-el-Djenoun où les faces est et ouest doivent être approchées prudemment.

Dans les faces nord et nord-ouest, le rocher est presque toujours bon.

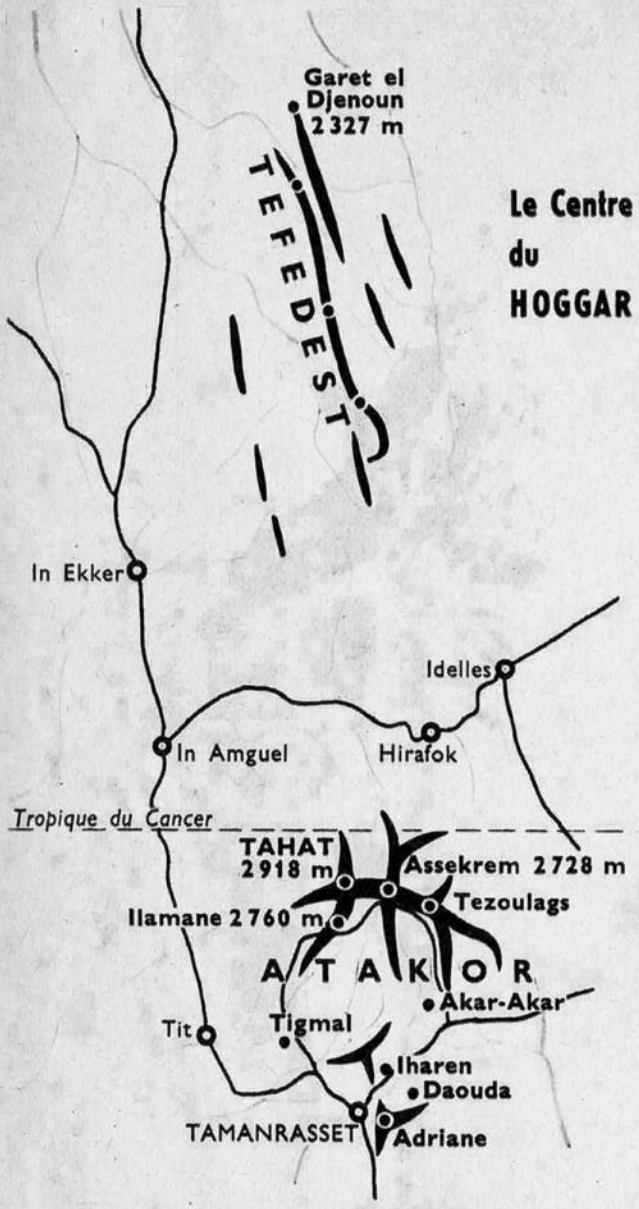
Au Hoggar, il n'y a pas de risques de chutes de pierres. Les parois sont en général verticales, et les rochers ne sont pas « manœuvrés » par les effets de la glace et de la neige qui, dans nos Alpes, les libèrent en fondant, provoquant parfois d'immenses avalanches de pierres meurtrières.

Le pitonnage est, par contre, difficile : dans les basaltes, on se trouve en présence de grosses fissures. Par contre, dans les granites de la Garet-el-Djenoun, on rencontre d'immenses dalles lisses s'étalant sur 300 m de haut et 500 m de large, laissant le grimpeur perplexe, lui faisant regretter de n'avoir point amené de chignole et de ciment à prise rapide pour réaliser de l'artificielle intégrale.

D'une façon générale, on peut ranger le Hoggar dans les « bonnes montagnes » qui,

Pilier Sud de l'Issekrar

Péria, guide de Saint-Gervais, s'attaque à une paroi basaltique verticale très typique du rocher du Hoggar. Les prises sont nombreuses, mais nécessitent une attention constante. Au fond, l'Iharen (Pic Laperrine) formé d'immenses colonnes monolithiques.



lorsqu'on les aborde avec prudence et une technique avertie, apportent au grimpeur les plus larges satisfactions.

La découverte du Hoggar

En 1881, la mission Flatters est massacrée à Bhir-el-Ghama, à proximité des montagnes bleues, encore « terra incognita» il y a de cela à peine trois quarts de siècle.

Après la réussite de la mission du lieutenant-colonel Laperrine qui brisa la puissance militaire des Touaregs, et l'héroïque marche de Foureau-Lamy, la paix était signée à In-Salah en 1905. A cette date, le Père de Foucauld s'installa définitivement à Tamanrasset. Jusqu'en 1918 les incidents ne cessèrent. Le 2 décembre 1916, des Senoussis assassinent l'Ermite du désert dont l'impressionnante figure permit en pleine guerre de maintenir la paix française sur un territoire plus vaste que la France entière, évitant l'envoi de troupes qui auraient cruellement fait défaut sur le front allemand.

En 1920, la noble figure du général Laperrine disparaît à son tour, à la suite d'un accident d'avion à Anesbaraka.

A cette époque, l'ensemble du Hoggar est connu et repéré, mais l'exploration alpine n'a pas commencé. L'honneur en revint à un jeune et dynamique officier des troupes sahariennes, le capitaine Coche, fervent montagnard qui décida de mobiliser une petite expédition. Accompagné d'amis du Club Alpin, François de Chasseloup-Laubat, Pierre Lewden et Pierre Ichac, il part en avril 1953 avec Frison-Roche, le célèbre guide et alpiniste. Il ramène une impressionnante moisson de « premières » : La Saouinan, l'Iharen, la Garet-el-Djenoun, l'Akarakar, etc. Il ne peut cependant faire que la deuxième de l'Illaman que Bossard et Hauser du Club Alpin Suisse avaient gravie quelques semaines plus tôt. Deux ans après, R. Jacquet réussit la première de la Daouda et se tue en tentant la deuxième ascension de l'Iharen. En 1937, le célèbre alpiniste suisse, le Dr. Wyss Durant fait la première du Tigmal et des Tezouleg à l'est de l'Assekrem, superbe chaîne basaltique qui barre l'horizon et s'enflamme chaque soir.

Pendant toute cette période (1920-1940), le Hoggar fut totalement repéré par le géologue Kilian. On ne saurait trop insister sur l'hommage qui doit être rendu à cette figure extraordinaire de pionnier et de savant. 25 ans avant la découverte du pétrole, Kilian avait défini avec une précision qui soulève l'admiration les gisements d'or noir, richesse d'aujourd'hui et de demain pour le Sahara français.

Au Hoggar, il n'y a pas de pétrole, en raison du caractère volcanique du terrain. Mais les richesses minérales (diamant, platine), découvertes récemment, confirment la prescience de Kilian.

Après les expéditions austro-allemandes de 1938, Alain de Chatellus, accompagné de Raymond de Bournet, effectue la seconde de l'Iharen par la voie Frison-Roche.

En 1951, l'ère de la découverte s'achève avec l'expédition de Bernard Pierre, Maurice Martin et Jean Syda qui écumèrent les derniers sommets vierges de l'Atakor central.

Photos Expédition Hoggar 57/58 du groupe Jeunesse de la Section Paris-Chamonix du C.A.F.

Plus récemment, les Lyonnais Dubost et Gendre et le Suisse Grelot ouvrent un certain nombre de voies nouvelles. En 1956 et 1958, Claude Aulard et ses compagnons en inaugurent une série d'autres.

Enfin, à Noël 1957, l'équipe des 58 alpinistes du Club Alpin organisée par la Section de Paris-Chamonix, à laquelle s'étaient joints Maurice Herzog, Lionel Terray et Maurice Lenoir, ratissèrent le massif, de la Garet à Tamanrasset. Le succès le plus retentissant fut la conquête de la face sud-ouest de l'Ilaman par Roger Salson et Lucien Berardini.

Jamais bilan alpin ne fut plus concentré ! Le succès en revient à la qualité exceptionnelle des grimpeurs, spécialement choisis, et à leur technique très avertie du rocher. L'absence totale d'accident contribuera peut-être à détruire, dans l'esprit du grand public, le mythe de la « montagne qui tue ».

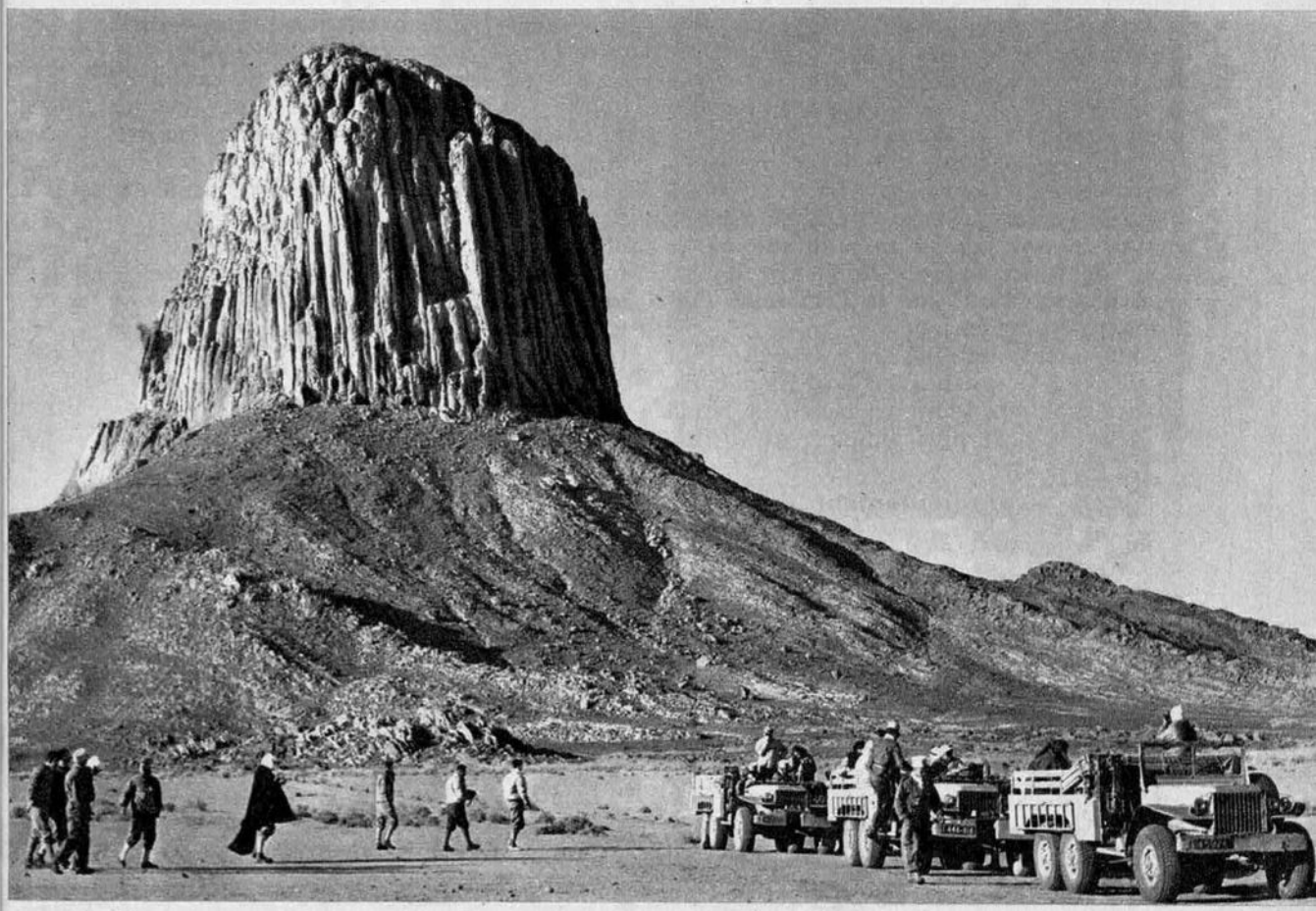
Le sport et le tourisme n'ont pas modifié la structure humaine du Hoggar. Nous avons trouvé un pays où les hommes du désert vivent au xx^e siècle ap. J.-C. comme au xx^e siècle av. J.-C. Ce voyage dans l'histoire est peut-être ce qu'il y a de plus bouleversant pour un Français de la Métropole.

Le Sahara est un désert vivant et pose des problèmes humains. La découverte des richesses du sous-sol : le pétrole, l'uranium, le platine, va-t-elle détruire ce qui a subsisté depuis des millénaires et appeler un autre ordre social et économique ? Le progrès technique l'emportera, mais la construction du Sahara de demain par la France ne sera que plus solide si nous savons y associer les hommes du désert, si la technique sait assimiler la tradition. C'est de ce point de vue humain que se jugera pour une grande part la réussite française dans l'éveil à la vie moderne de ce continent attardé.

Jean-Paul GARDINIER

Président de la Section PARIS-CHAMONIX du Club Alpin Français. Chef de l'expédition HOGGAR 1957/1958.

Carte et croquis de Bernard FROHLICH, Ingénieur I.G.N.



L'équipe du Club Alpin Français au pied de l'Iharen

L'ÉNERGIE SOLAIRE

ressource inépuisable du désert

LE développement impressionnant des études scientifiques et techniques dans le domaine de l'énergie atomique depuis une quinzaine d'années a, sans conteste, porté préjudice aux recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire. Dans le même temps, les succès obtenus par la prospection des hydrocarbures en France et au Sahara contribuaient à détourner l'attention des milieux industriels et gouvernementaux de cette source d'énergie pratiquement inépuisable dont le captage et la transformation en énergie calorifique, mécanique ou électrique ont pourtant déjà donné lieu à un nombre considérable de travaux.

Dans cette compétition pacifique la France tient jusqu'ici une place de choix, grâce au professeur Félix Trombe qui a rassemblé en moins de dix ans, à Montlouis, au cœur de la Cerdagne, une équipe remarquable dont l'autorité et l'efficacité s'affirment de jour en jour.

Une intense activité de recherche s'est développée simultanément aux États-Unis, en U.R.S.S., aux Indes, en Israël, au Japon et, à une échelle plus réduite, en Algérie.

L'ensoleillement

Des zones très étendues du globe terrestre sont dotées d'un ensoleillement exceptionnel qui agit directement sur les conditions d'existence de la population. C'est ainsi que l'ensoleillement du littoral nord-africain dépasse 3 000 heures par an et que, dans les régions situées au sud de l'Atlas saharien, il pourrait s'élever en moyenne à 4 000 heures.

En l'absence d'atmosphère, on recevrait sur une surface de 1 m² placée normalement aux rayons du soleil une puissance de 1,35 kW en moyenne. En fait, l'interven-

tion de l'atmosphère, sous forme d'absorption et de réflexion diffuse, ramène cette valeur théorique moyenne à 1 kW. La « radiation diffuse », due aux gaz de l'air, aux poussières en suspension et aux nuages, s'ajoute à la « radiation directe » pour constituer la radiation totale. A Tamanrasset, la radiation totale reçue par une surface horizontale est en moyenne de 540 calories par cm² et par jour.

Si l'on applique brutalement cette donnée simple à la superficie du Sahara français, on mesure d'emblée l'ampleur du problème que poserait la récupération d'une fraction aussi élevée que possible de cette énorme quantité d'énergie.

Avant de tenter une discrimination des problèmes spécifiquement sahariens, nous donnerons un aperçu de la variété des recherches qui se poursuivent dans le monde et auxquelles sont attachés, en France, les noms de M.M F. Trombe, M. Foëx et G. Réméniéras.

Nous distinguerons :

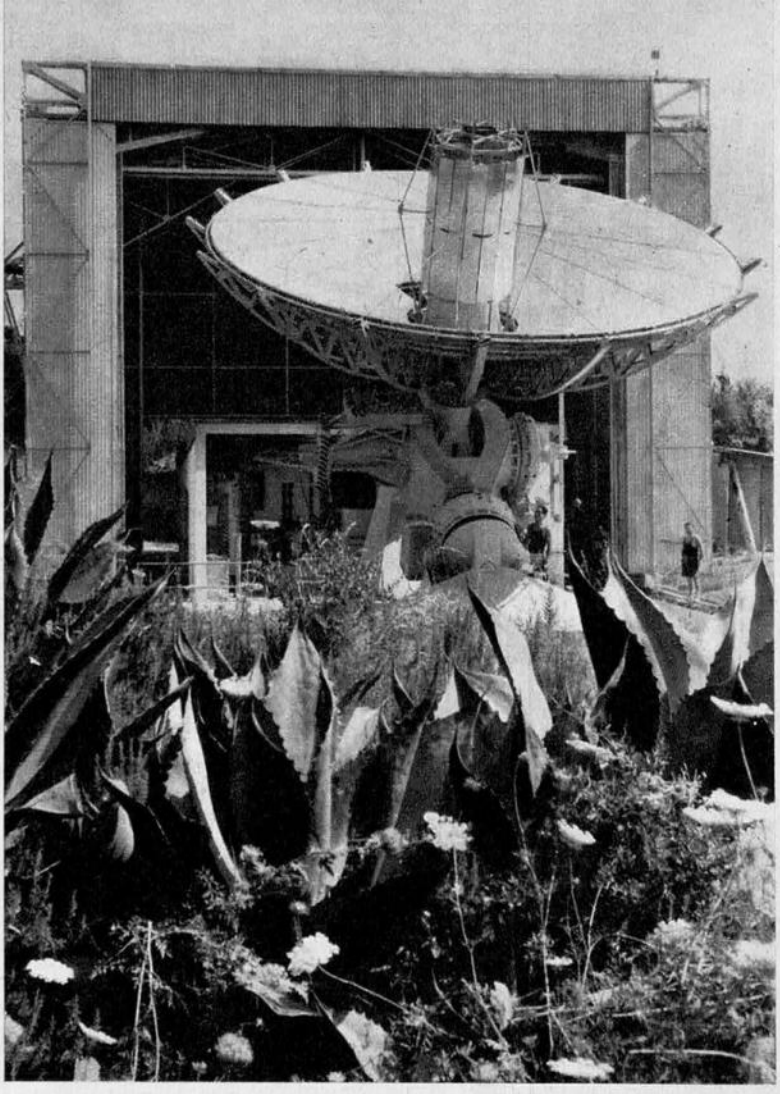
— les utilisations naturelles;

— les utilisations artificielles sans concentration et avec concentration.

En ce qui concerne les utilisations naturelles, le principal domaine à explorer est celui de l'amélioration du rendement des *photosynthèses* (biologiques ou non). Celui-ci ne dépasse pas, pour le moment, quelques centièmes.

Plusieurs centres d'expérimentation se sont ainsi donné pour objectif la culture intensive d'une algue monocellulaire (Chlorella pyrenoïdosa) qui transforme en matière organique deux centièmes de l'énergie qu'elle reçoit du soleil.

On a tenté également de stocker l'énergie solaire sous forme d'hydrogène au moyen de certaines réactions chimiques.



Cl. A.R.E.S.A.

LE FOUR SOLAIRE DE BOUZARÉAH

La puissance calorifique de ce four installé dans la banlieue d'Alger et utilisé surtout jusqu'ici pour l'étude de l'action photochimique de l'ultraviolet, ést de 35 kW. Ses éléments réfléchissants sont en alliage d'aluminium et magnésium. Il est aisément démontable et pourra être remonté sous d'autres latitudes.

Utilisations artificielles sans concentration

Le procédé de captage le plus généralement employé est le vitrage, simple ou double, qui réalise ce qu'on appelle l'« effet de serre ».

Le verre laisse pénétrer le rayonnement de courte longueur d'onde, qui est absorbé par la paroi intérieure noircie du collecteur et fait obstacle à la sortie du rayonnement de grande longueur d'onde émis par ces parois, dont la température s'élève plus ou moins suivant les dipositifs adoptés.

On peut réaliser par ce procédé le chauffage des habitations et le chauffage de l'eau et sa distillation.

Les Russes ont ainsi installé des bains-douches publics et des lavoirs comportant 100 m² de surface vitrée. Des installations individuelles sont couramment employées en divers pays.

Les appareils de chauffage de l'eau, dont l'usage se développe de façon continue dans les régions ensoleillées des U.S.A., comportent essentiellement un serpentin à grande surface, noirci superficiellement et protégé par un vitrage bloquant le rayonnement infrarouge. Le serpentin alimente par thermo-siphon un réservoir calorifugé. Une surface insolée de 2 à 3 m² peut donner par jour plus de 100 l d'eau à 75°.

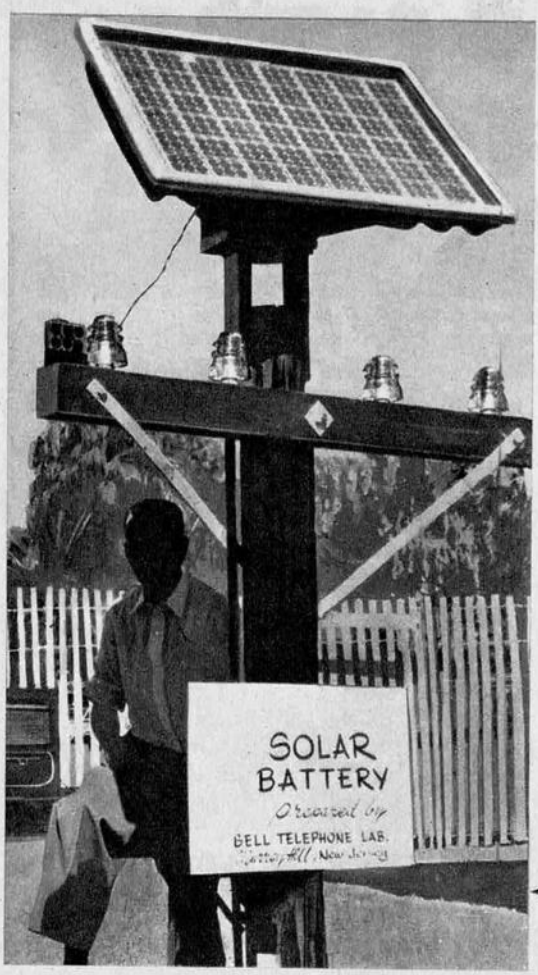
Sur le plan de l'évaporation naturelle, signalons qu'en Australie et en Israël on a amélioré de 20 à 40% le rendement des salines en colorant l'eau-mère à l'aide de vert naphtol à la dose de 8 g par litre.

Le problème de la récupération des eaux saumâtres (par exemple celles qui proviennent de l'irrigation des palmeraies) offre un intérêt indiscutable dans toutes les régions

arides ou semi-arides. Il est à l'ordre du jour aux U.S.A. où l'on se préoccupe même de tirer de l'eau de mer des ressources complémentaires pour certaines zones irriguées. En Algérie, les professeurs Savornin et Lejeune se consacrent avec succès, depuis quelques années, à l'amélioration du rendement de la distillation solaire. A Dakar, M. Masson poursuit d'intéressantes études sur les collecteurs de grande dimension.

Utilisations artificielles avec concentration

On peut alors envisager la production de force motrice, d'électricité, de froid et même la cuisine solaire, ainsi que l'obtention de hautes températures, qui trouvent leur application dans l'étude des ultra-réfractaires, dans certaines métallurgies délicates et dans la fabrication de nombreux *corps purs* que l'industrie utilise de plus en plus, notamment en électronique.



Cl. U.S.I.S.

Production de force motrice et d'électricité

La production d'énergie mécanique est possible au moyen de collecteurs plats du type décrit plus haut, dans lesquels un fluide s'échauffe ou se vaporise et transmet une partie de l'énergie solaire incidente à une machine thermique accouplée au générateur électrique (exemple : machine italienne de 2,5 ch fonctionnant au moyen de gaz sulfureux et utilisable pour le pompage de l'eau d'irrigation).

Par la concentration, on augmente la température du fluide et on peut espérer atteindre un rendement satisfaisant.

En 1913 fut construit à Meadi, en Égypte, une installation utilisant des miroirs cylindro-paraboliques fixes d'une surface totale de 130 m². Un moteur à vapeur fournissait 50 à 60 ch à une pompe d'irrigation pendant 5 heures par jour. Son exploitation fut rapidement jugée moins économique que celle d'une station à moteurs classiques.

Les savants russes estiment que la transformation économique à grande échelle doit être obtenue par l'accumulation sur une surface très réduite de l'énergie réfléchie par de nombreux petits miroirs qu'il est aisé de fabriquer en série. Une usine génératrice de ce type, capable de produire 11 à 14 tonnes de vapeur à la pression de 30 à 35 kg/cm² et à la température de 400° C est en voie de construction en Arménie, au pied du Mont-Ararat. L'énergie produite sera utilisée surtout pour l'irrigation.

On obtient directement de l'énergie électrique au moyen de couples thermoélectriques ou de cellules photovoltaïques à semi-conducteurs.

Les laboratoires de la « Bell Telephone » ont ainsi mis au point des piles au silicium dont l'emploi est encore très limité en raison du coût élevé de la fabrication de monocristaux de silicium pur. L'activité des chercheurs est très grande dans ce domaine qui intéresse déjà les installations téléphoniques ou radioélectriques isolées, dans lesquelles on a besoin de charger des batteries sans surveillance.

On doit s'attendre dans un avenir assez rapproché à des développements très intéressants de ces procédés.

←**BATTERIE SOLAIRE** *expérimentale de la Bell Telephone. Les cellules transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique pour charger des batteries d'installations téléphoniques isolées.*

United Press Photo

***UN DISTILLATEUR SOLAIRE** pour l'obtention d'eau douce à partir d'eau saumâtre ou d'eau de mer. Chaque élément mesure 60 cm de large et 30 m de long. La vapeur d'eau se condense sur le film de tétrafluore d'éthylène (téflon) et l'eau douce est recueillie dans le bassin. La batterie fournirait 800 l par jour.*

Production de froid

On peut facilement transformer les calories solaires en frigories par l'intermédiaire d'un cycle de dissolution et d'évaporation d'un liquide approprié, et l'on doit considérer dès maintenant comme rentable les réalisations de ce genre.

Cuisine solaire

La pénurie de combustibles dont souffrent la plupart des pays sous-développés a provoqué la construction de « cuiseurs » solaires dont le prix de vente paraît encore dépasser le pouvoir d'achat des individus susceptibles de les utiliser. Il s'agit en général de petits miroirs paraboliques ingénieusement agencés. On peut penser que les progrès de la fabrication des surfaces plastiques réfléchissantes permettront sous peu des réalisations économiques (exemple : plastique aluminé du type Rhodialine, etc.).

Les hautes températures

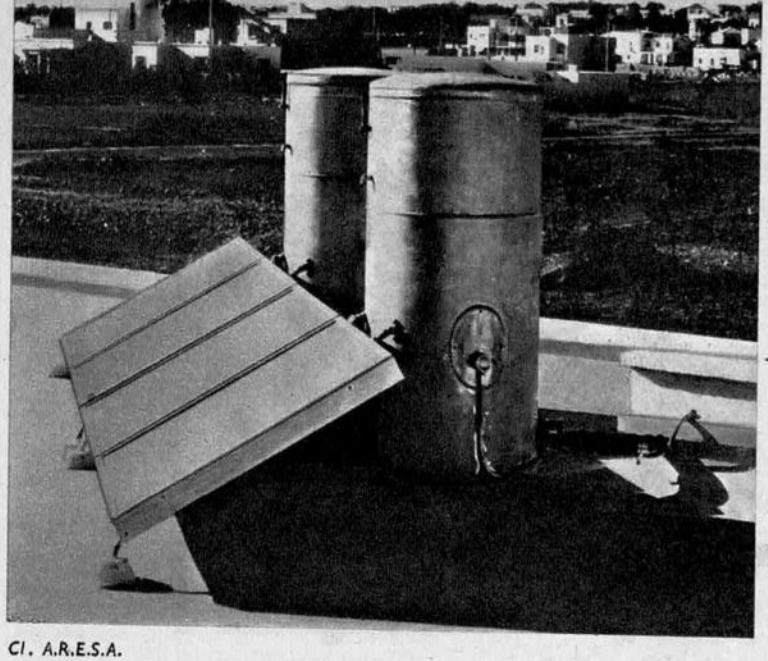
Les types d'appareils de concentration les plus couramment utilisés sont des miroirs paraboliques.

Le calcul montre qu'avec un facteur de concentration de 20 000, techniquement réalisable, la température maximum serait de l'ordre de 4 000° C. En fait, les fours existant à ce jour ont donné des températures d'équilibre comprises entre 3 000 et 3 500° C. Deux miroirs français (Montlouis et Bouzaréah, près d'Alger) l'un et l'autre de conception très originale, détiennent actuellement le record du monde de la puissance calorifique (respectivement 70 et 35 kW).

Ces deux miroirs sont constitués par juxtaposition de couronnes successives formées d'éléments réfléchissants focalisés séparément. A Montlouis, ce sont des glaces argentées; à Bouzaréah, des éléments réfléchissants en alliage spécial d'aluminium et magnésium polis électrolytiquement et protégés par un film de matière plastique synthétique.

Alors qu'à Montlouis on s'est proposé surtout l'obtention des hautes températures, on s'est donné pour objectif, à Bouzaréah, d'étudier l'action photochimique de l'ultraviolet, d'où le choix du métal poli, le verre absorbant pratiquement la majeure partie de cette fraction du spectre solaire.

L'appareil de Montlouis, dont le foyer est fixe, est couramment utilisé pour la purification de certaines substances, la fusion ou le frittage d'oxydes réfractaires (zircone, alumine, etc.), la préparation de métaux ou d'alliages dans des conditions de pureté exceptionnelles, etc.



Cl. A.R.E.S.A.

POUR LES IRRIGATIONS, *une firme italienne a proposé cette machine solaire utilisant des collecteurs plats pour la captation de l'énergie solaire. La puissance recueillie peut servir au pompage de l'eau.*

CHAUFFAGE DE L'EAU *par l'énergie solaire. Cette installation expérimentale destinée à des utilisations domestiques alimente des réservoirs. Une surface de 2 à 3 m² peut fournir 100 l environ à 75°.*

Les résultats satisfaisants obtenus à ce jour ont décidé à projeter la construction d'un four de 1 000 kW.

Les conditions de fonctionnement du four de Bouzaréah ne sont pas encore arrêtées de façon précise. Les premières recherches avaient pour objectif principal la synthèse de l'acide nitrique. La découverte, à partir de 1953, de quantités énormes de gaz naturel et les difficultés de mise au point d'un type de four approprié ont amené à suspendre momentanément les essais de cette nature.

Des recherches sur les phototransformations sont en cours depuis deux ans. Les principaux sujets abordés sont, pour le moment, la mise au point de filtres pour l'obtention d'ultraviolet à haute concentration, des réactions réversibles (exemple : système thionine-fer) ou irréversibles (étude de la chloration du xylène, etc.).

L'énergie solaire peut-elle améliorer les conditions d'existence au Sahara ?

Une grande objectivité s'impose quand on aborde le domaine si complexe de la mise en valeur du Sahara. D'énormes distances séparent les rares lieux habités. Rappelons-nous que la répartition géographique des habitants, résultante historique des luttes sanglantes que connut le désert avant l'intervention française, est essentiellement basée sur l'existence de l'eau en des zones privilégiées.

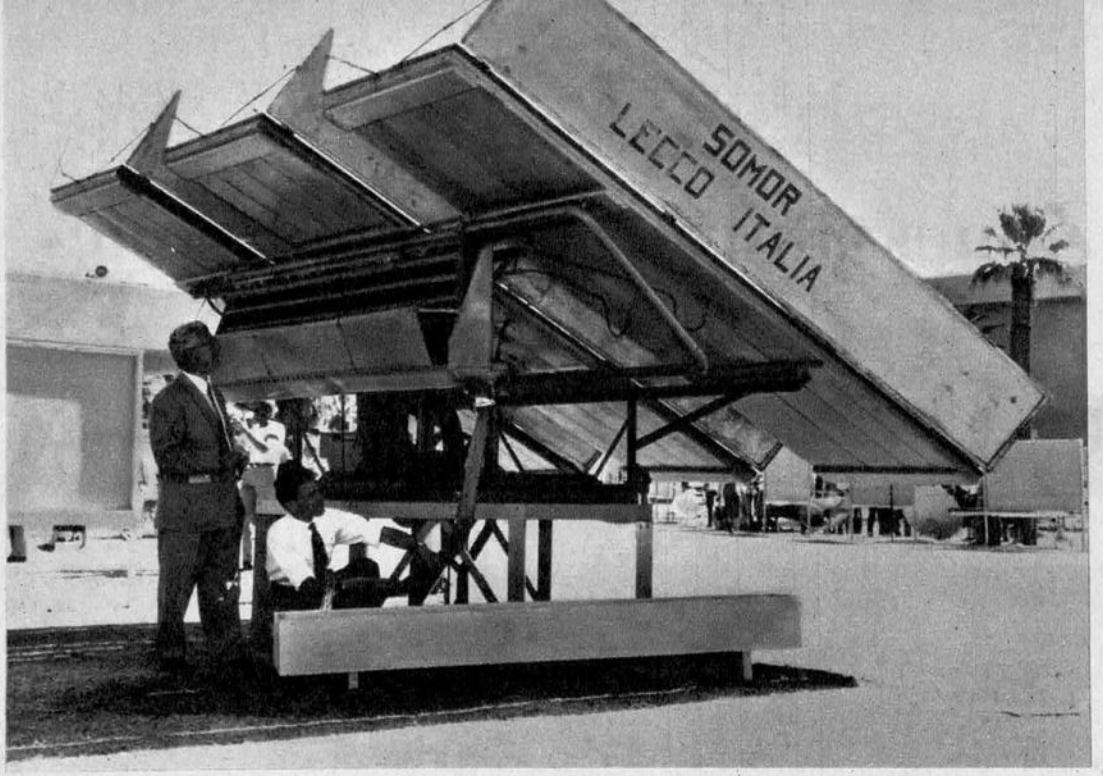
Les études hydrogéologiques des trente dernières années ont permis de dresser un bilan précis de ces ressources aquifères : si abondantes qu'elles soient, leur volume total est limité et leur utilisation doit être l'objet d'une efficace réglementation.

Un rapide coup d'œil sur une carte montre au surplus que la localisation actuelle des gisements d'hydrocarbures liquides ou gazeux, qui ne coïncide pas obligatoirement avec celle des ressources aquifères facilement accessibles, laisse encore hors de portée de la calorie, si l'on peut dire, des fractions considérables du territoire.

Enfin, parmi les facteurs qui doivent être pris sérieusement en considération au moment où les réalisations eurafricaines tiennent la vedette, il faut attacher au tourisme saharien l'importance qu'il mérite. L'homme est naturellement épris de soleil et de lumière. Les Américains l'ont bien compris, qui transforment les régions désertiques du sud des États-Unis en véritables zones de repos, facilement accessibles en avion, dans lesquelles le plus grand soin est apporté à l'agencement et au conditionnement des habitations.

Annexe ensoleillée de l'Afrique du Nord, le Sahara peut devenir à bref délai pour l'Europe saturée de civilisation mécanique un refuge bienfaisant en même temps qu'une source de profit pour ses habitants et pour la France.

On voit ainsi se dessiner les grandes lignes du Sahara de demain. Une fraction importante de cette immensité désertique demeu-



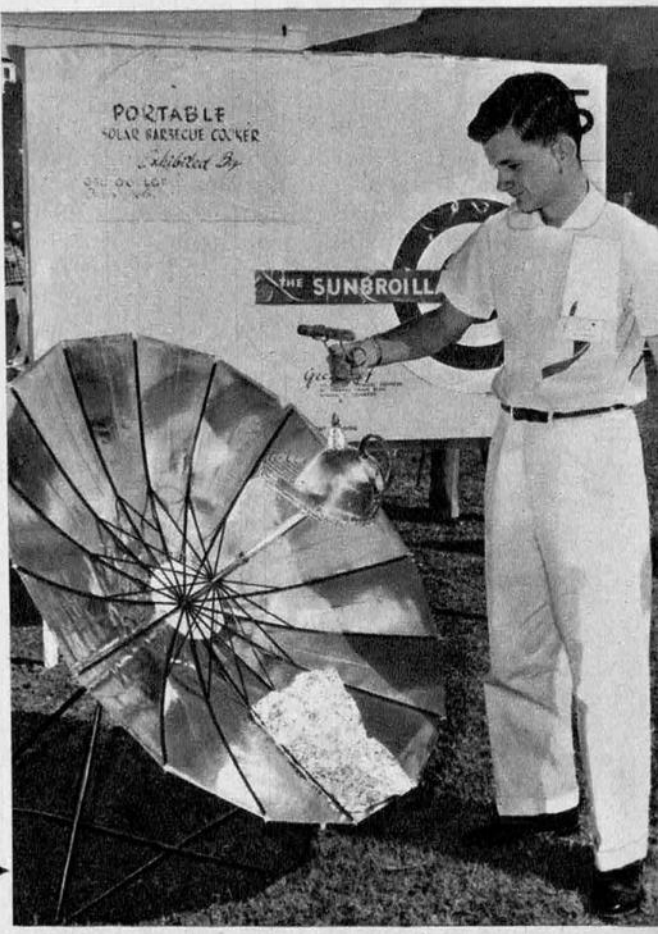
Cl. U.S.I.S.

rera pratiquement inhabitable, mais prodiguera au voyageur la diversité de ses horizons au cours des étapes nécessaires entre les zones de séjour qui seront de deux sortes : zones industrielles et zones de repos.

L'exploitation du pétrole saharien aura pour conséquence une amélioration de la condition humaine, mais seulement dans un périmètre raisonnable autour des gisements. Les impératifs économiques de la distribution de l'énergie laisseront subsister de nombreuses agglomérations dans lesquelles on devra avoir recours à la production locale de force motrice au moyen du soleil, car les autres sources énergétiques sont déficientes.

Il ne faut cependant pas se cacher que, comme le souligne un rapport de l'U.N.E.S.C.O. sur les zones arides, l'utilisation de l'énergie solaire serait la solution idéale dans les régions où les combustibles manquent, mais qu'elle ne pourra être assurée avant qu'une tâche immense soit accomplie par des chercheurs patients et assidus.

J. Betier



***CE CUISEUR SOLAIRE** portatif comporte un miroir parabolique assez rudimentaire. De tels appareils pourraient convenir dans les pays où l'insolation est abondante et où existe une pénurie de combustible.*

Cl. U.S.I.S.

Zones industrielles et zones mi

LA MISE EN VAL

TRAITANT des problèmes sahariens M. Eirik Labonne, vice-président du Comité des Zones d'Organisation Industrielle Africaine, déclarait il y a trois ans : « La subordination du stratégique à l'industrie s'accuse de plus en plus ». La mise en valeur du Sahara répond en effet à deux objectifs interdépendants : l'amélioration des conditions de vie en Afrique et en Europe par la valorisation des richesses minières et énergétiques au moyen de grands ensembles industriels, l'adaptation et le perfectionnement du système défensif français.

La France, en créant de nouvelles zones de prospérité économique, en établissant un programme de relèvement du niveau de vie des masses africaines, fait disparaître en même temps une grande partie de ses insuffisances en ravitaillement énergétique ou minier. Renforçant son potentiel industriel, elle consolide sa puissance.

La valorisation du désert ne se ramène pas à une sorte de « traite » des richesses du sous-sol au profit de la métropole et d'autres pays européens industrialisés, et également avides des matières premières. Le programme français ne peut en aucune manière être confondu avec une forme quelconque de néo-colonialisme industriel. La promotion de notre zone aride au rang des terres les plus riches du globe va de pair avec celle de millions d'êtres humains.

De l'empirisme traditionnel à la planification économique

Le Sahara n'a sans doute pas attendu la France pour avoir sa vie propre. Il n'était un désert que pour ceux qui n'osaient pas affronter ses mystères et pour les populations paysannes qui, à l'instar d'un ancien sultan du Maroc, arrêtaient leur frontière au seuil du « pays où la terre ne se laboure pas ». Mais les activités traditionnelles du Sahara portaient la marque de l'empirisme : nomadisme pastoral ou guerrier, cultures vivrières des sédentaires oasiens, exploitation artisanale d'une infime fraction des ressources naturelles dont l'exemple le plus typique est l'extraction du sel gemme. Cette forme d'exploitation continue, selon des procédés médiévaux, dans les salines d'Idjil, du Taoudeni, de Tisemt, de Bilma et de l'Ennedi.

Le commerce du sel représente un chiffre d'affaires de l'ordre de 200 millions de francs par an; il occupe une position de choix dans le trafic caravanier et procure aux populations une de ses rares monnaies d'échange, en plus des dattes et du bétail.

A l'industrie primitive fragmentaire, la France substitue la mise en valeur industrielle systématique. Notre action se manifeste-t-elle tardivement ? Il est certain que, depuis un demi-siècle, nous avions les instruments nécessaires pour doter le Sahara

litaires

EUR DU SAHARA

d'une infrastructure qui, aujourd'hui, nous rendrait les plus précieux services afin de hâter les travaux de valorisation tout en engageant des dépenses moins colossales. Toutefois les progrès réalisés dans le domaine des transports, de la prospection, de la métallurgie et de la chimie nous permettent d'affirmer que l'heure du Sahara ne sonne pas trop tard pour nous.

Développement des zones arides

Dans les régions arctiques comme dans les déserts chauds, les Américains, les Canadiens et les Russes ont entrepris avec le plus grand succès de tirer la terre de son sommeil et de la subordonner aux besoins croissants d'un monde en progrès démographique continu. En terre d'Islam, les grands déserts d'Arabie sont devenus une des zones mondiales les plus disputées depuis que le pétrole extrait de leur sous-sol conditionne les rythmes de vie des grands pays industriels.

La France s'est vue abandonner autrefois par les Britanniques, installés en Égypte après nous avoir évincés, les arpents de sable et de cailloux du Sahara. Ce cadeau fait dédaigneusement « au coq gaulois afin qu'il puisse à loisir aiguiser ses ergots », selon l'expression d'un grand ministre anglais, est aujourd'hui l'atout majeur de notre avenir.

Depuis de nombreuses années, les plans de développement saharien ont été étudiés et mûris. Maintenant la France lance dans le désert ses jeunes ingénieurs, de nouveaux administrateurs. Elle met à leur disposition les techniques les plus modernes et les moyens de financement.

Dès 1928, M. Eirik Labonne préfigurait l'organisation économique du Sahara. Plusieurs projets d'unification des territoires avaient déjà été présentés, dont un décret du 30 juin 1914, qui prévoyait la création d'un « Gouvernement du Centre Africain ». Les domaines politiques et économiques étaient étroitement mêlés. Une coordination économique et administrative s'est finalement imposée.

Les organismes techniques de coordination

Les organismes techniques ont joué un rôle déterminant en ce sens. En 1950 a été créé le *Comité de Zones d'Organisation Industrielle Africaine* (Z.O.I.A.). Il est présidé par le Président du Conseil, et M. Eirik Labonne en assume la vice-présidence en vue de coordonner l'ensemble des études portant sur le développement politique et économique de l'Union Française. Ce comité a défini cinq ensembles industriels africains, dont trois en Afrique Noire (Guinée, Moyen Congo et Madagascar) et

SUITE PAGE 146

Projets audacieux de création d'une

IL ne fait guère de doute que les chotts du Sud constantinois et du Sud tunisien, le chott Melrhir, le chott el Rharsa, le chott Djerid et le chott el Fedjadj, étaient reliés, quelques siècles avant notre ère, au golfe de Gabès. Cette mer intérieure saharienne est celle où Hérodote et Pindare, écrivant vers 450 av. J.-C., situent l'échouage de Jason poussé par la tempête. L'histoire de son asséchement progressif et du rehaussement du seuil de Gabès peut être suivie dans Scylax, Pomponius Mela et Ptolémée, qui au IIe siècle, note la division en plusieurs lacs.

Aujourd'hui ces lacs sont devenus des « chotts », bas-fonds recouverts d'une croûte de sel et de calcaire où vient s'évaporer l'eau qui s'infiltre dans les régions avoisinantes. Ceux qui occupent l'emplacement de l'ancien lac de Triton s'étendent sur plus de 300 km, du méridien Biskra-Touggourt jusqu'aux abords de Gabès. Leurs cotes vont s'élevant de l'Ouest à l'Est : le chott Melrhir est à 30 m au-dessous du niveau de la mer ; le chott El Rhasrsa à 17 m : dès le chott Djerid on remonte à une altitude de + 22 m.

Le premier projet de remise en eau de l'ex-lac de Triton est dû au lieutenant-colonel Roudaire qui, comme capitaine d'état-major, fut chargé des travaux de triangulation et de nivellement en 1872. Malgré l'appui de Ferdinand de Lesseps, il ne parvint pas à faire adopter son projet.

Depuis, on a proposé à nouveau la création de la mer intérieure saharienne pour l'alimentation d'une centrale électrique « hydro-solaire », où l'évaporation devait maintenir la différence de niveau productrice d'énergie. Le projet Kervran (1) comportait deux tunnels pour la traversée du seuil de Gabès (+ 47 m) et du seuil de Tozeur (+ 78 m) et une centrale de 75 000 kW au débouché dans le chott el Rharsa.

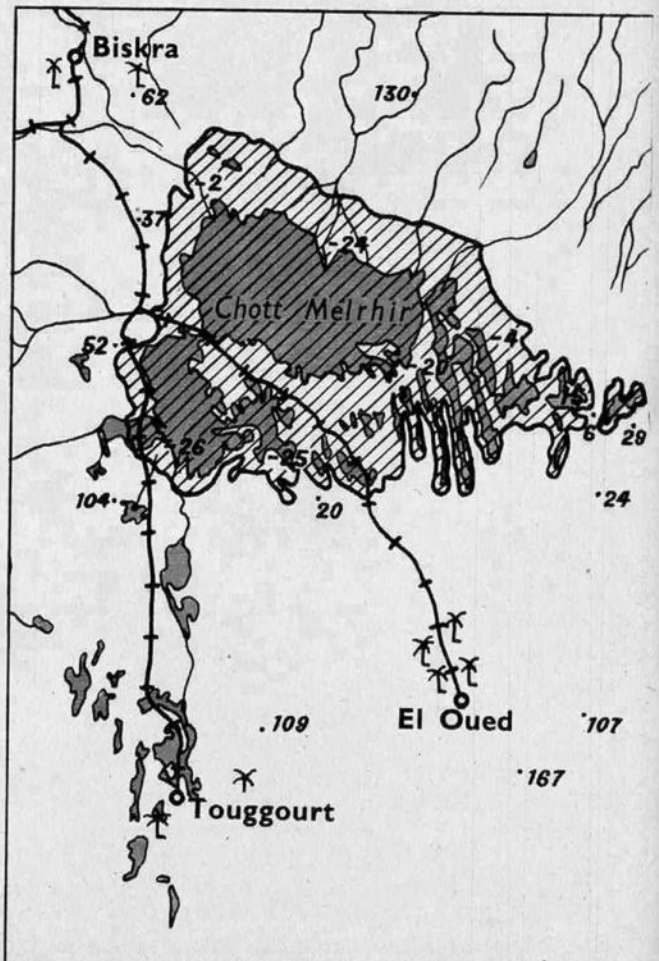
Le projet A.R.T.E.M.I.S.

La proposition la plus récente est celle d'A. R. T. E. M. I. S. (Association de Recherches Techniques pour l'Étude de la Mer Intérieure Saharienne), fondée en mai 1957.

Les travaux comprendraient le percement de l'isthme de Gabès, des seuils de Tozeur et l'Asloudjé, et l'ouverture d'un canal au nord du chott Djerid. Roudaire chiffrait le cubage des terrassements à 600 millions de m³ environ, soit 575 millions de m³ de déblais de terre et 25 millions de m³ de déblais en rocher. C'était six fois plus que le canal de Suez, et l'on conçoit qu'avec les moyens de l'époque, le travail ait paru hors de proportion avec les bénéfices à en attendre. Aujourd'hui, A. R. T. E. M. I. S. fixe le prix de revient à 110 milliards de francs.

Mais il n'est pas possible, quand on envisage des travaux de cet ordre de grandeur, de ne pas tenir compte des immenses possibilités des explosions nucléaires. Au lendemain même d'Hiroshima, on en envisageait l'application aux grandes excavations pour travaux publics.

Déposant en mars dernier devant la Commission des Affaires Étrangères du Sénat, le Dr Willard E. Libby, membre de l'Atomic Energy Commission, a énuméré les diverses applications pacifiques des explosions nucléaires et les a expressément indiquées, en insistant sur les travaux maritimes, tels que l'établissement de ports par grands fonds. Les techniciens soviétiques ont préconisé à plusieurs reprises l'ouverture par explosions souterraines de canaux, tels que ceux qui dirigeraient vers la mer d'Aral et la Caspienne les eaux de l'Ob et de l'Yénisséi. L'établissement d'une mer intérieure saha-



(1) Voir : Science et Vie N° 444, septembre 1954.
(2) « Les Applications de l'Explosion Thermonucléaire » (Ed. Berger-Levrault).

mer intérieure aux confins tunisiens

rienne est une application du même ordre. Beaucoup d'autres sont possibles.

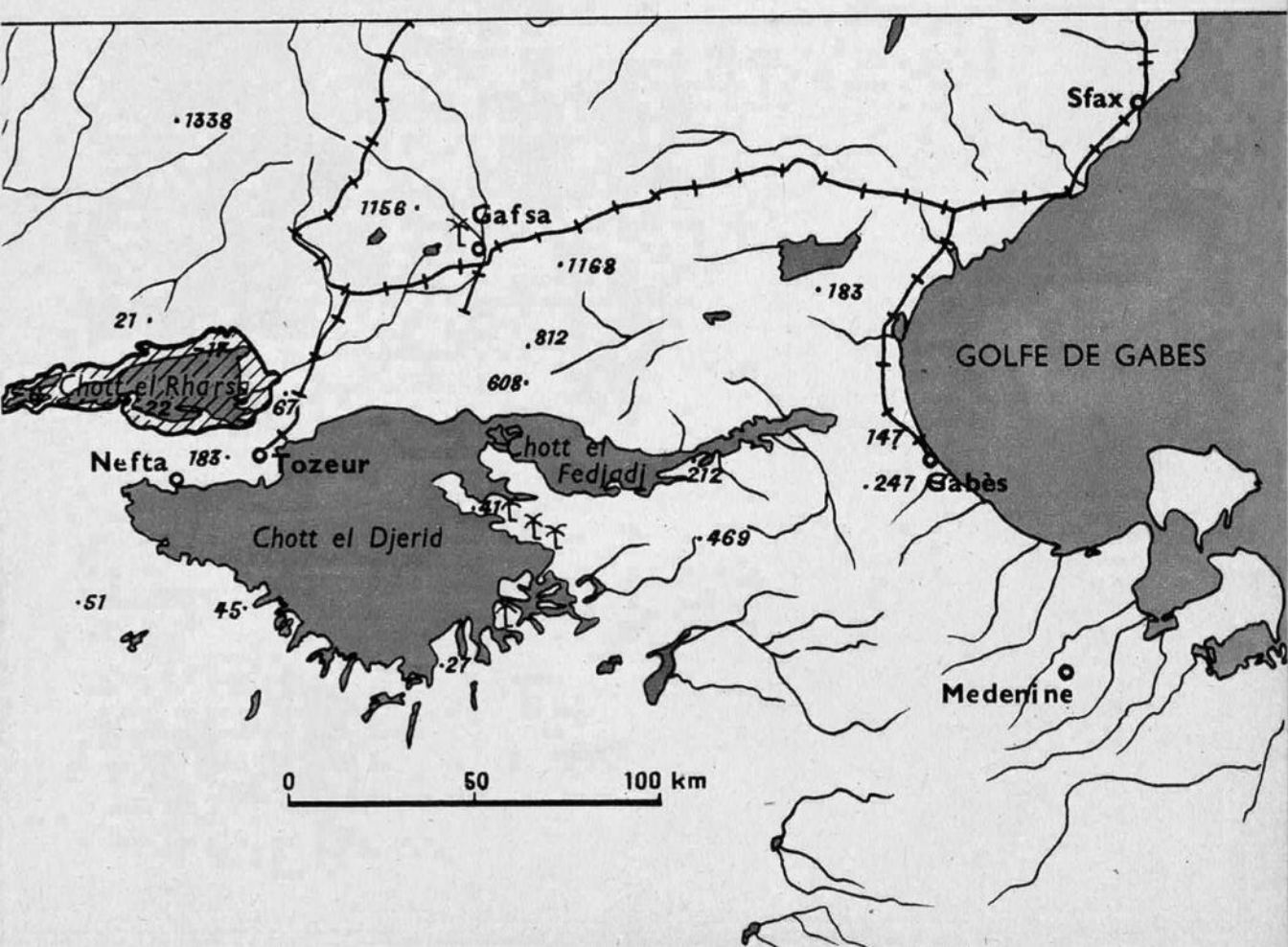
L'explosion thermonucléaire

Que l'explosion thermonucléaire souterraine puisse ouvrir de larges excavations, il n'est pas permis d'en douter. Dès novembre 1952, une bombe, dont la puissance ne devait pas dépasser 5 mégatonnes (en équivalent de trinitrotoluène, explosif classique), placée au sommet d'un pylône sur l'îlot d'Elugelab, laissait à l'emplacement un cratère d'un peu moins d'un mille (1 609 m) de diamètre, selon les déclarations officielles. Placée vers 1 000 m de profondeur, une charge de 20 mégatonnes doit ouvrir un entonnoir ayant largement 4 000 m de diamètre (2).

L'explosion thermonucléaire apporte donc une solution immédiate au franchissement des trois seuils entre la Méditerranée et le chott Melrhir ; elle dispense des coûteux tunnels de section nécessairement faible et évite leurs pertes de charge. Mais, en outre, elle est certainement plus économique que le dragage pour le canal d'amenée à creuser dans le chott el Fedjadj et le chott Djerid. Si l'on accepte, pour la bombe de 20 mégatonnes, l'évaluation du Dr Ralph Lapp, 1 « cent » la tonne de tolite équivalente, soit 200 000 dollars, les cinquante entonnoirs jointifs à établir de Gabès à Tozeur ne coûteraient même pas 5 milliards de francs. Les explosions s'imposent donc pour la totalité du canal d'amenée. On y trouvera l'avantage supplémentaire d'ouvrir l'accès de la mer intérieure à des navires de tout tirant d'eau concevable, et d'éliminer l'onéreux entretien ultérieur par dragage des sables que le vent dépose dans un canal de faible profondeur.

Les avantages revendiqués par les protagonistes de la mer intérieure saharienne sont de divers ordres. A. R. T. E. M. I. S. met l'accent en particulier sur l'accès des navires de haute mer dans le Sahara et la fertilisation des terres voisines.

La pénétration des navires de haute mer devait donner une plus-value à tous les territoires voisins. Roudaire y voyait une



voie d'accès aux richesses forestières de l'Aurès et aux phosphates de Gafsa. On apprécierait beaucoup plus aujourd'hui la voie d'évacuation du pétrole de Hassi Messaoud, à 290 km seulement au sud du chott Merhir, en évitant au pipe-line la difficile traversée de l'Atlas.

La restauration de la fertilité paraît plus problématique. L'avance du Sahara dans des régions qui furent le grenier à blé de Rome est aujourd'hui attribuée à des causes beaucoup plus générales que celles qui provoquèrent l'asséchement du lac de Triton. L'exemple de la mer Rouge montre que la proximité d'un vaste plan d'eau ne suffit pas à fertiliser les régions côtières. Les 28 millions de mètres cubes dont Roudaire escomptait l'évaporation journalière, retomberaient-ils vraiment sur l'Aurès et les Nementcha ? Ou bien leur effet ne se bornerait-il pas à un léger relèvement du degré hydrométrique de l'air saharien dirigé vers le Nord par le sirocco, insuffisant pour provoquer une condensation ?

L'exhaussement, sous la pression de l'eau de mer, de la nappe d'eau douce souterraine alimentant les oasis du voisinage est probable. Mais il faut mettre en regard le coût de la mer intérieure et celui des autres moyens de développer les richesses hydrauliques de la région, tels que le barrage des oueds.

Les centrales hydrosolaires pour production d'énergie ont fait l'objet de nombreuses études, d'où l'on conclut généralement que, même dans des sites peu éloignés de la mer, à forte évaporation, comme la Mer Morte, elles rémunéreraient difficilement les travaux d'adduction, surtout en tunnel. Dans le cas de la mer saharienne, la production possible d'électricité ne serait donc qu'un complément, ne justifiant pas à lui seul l'ensemble des travaux.

L'exploitation de pêcheries dans les eaux de la mer intérieure, comme dans le lac Menzaleh, en Égypte, serait un appoint intéressant, mais à mettre en balance également, avec le revenu d'un même effort financier appliqué au développement de la pêche dans les mers existantes.

Jusqu'à l'explosion souterraine du Nevada, bien des objections pouvaient être présentées à de tels projets : la destruction des villes à grande distance par des ondes sismiques, l'aspersion de l'Afrique du Nord par les poussières radioactives... Il serait trop long d'en discuter et nous renvoyons sur ces sujets aux conclusions optimistes que l'Atomic Energy Commission a tiré de sa première expérience. Aucune région au surplus ne se prête mieux à une première application que les étendues semi-désertiques de la région des chotts.

Camille ROUGERON

SUITE DE LA PAGE 143

deux en terre saharienne (Z.O.I.A. N° 1 sur les confins algéro-marocains, et Z.O.I.A. N° 2 sur les confins algéro-tunisiens).

Deux ans plus tard était créé le *Bureau d'Organisation des Ensembles Industriels Africains* chargé de concrétiser les suggestions du Comité des Z.O.I.A. Établissement public de caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, le B.I.A. a été présidé jusqu'en 1958 par M. Louis Armand, ancien président de la S.N.C.F., président de l'Euratom.

La sphère d'activité du B.I.A. a été limitée en fait au Sahara algérien et spécialement à sa zone occidentale comprenant Colomb-Béchar et le gisement de fer de Gara Djebilet, près de Tindouf.

D'autres organismes techniques spécialisés interviennent dans la mise au point des programmes de mise en valeur : plusieurs bureaux miniers dont le *Bureau Minier de la France d'Outre-Mer* (B.U.M.I.F.O.M.) et le Bureau des Recherches Minières de l'Algérie (B.R.M.A.), sans omettre l'action du *Bureau de Recherches et des Prospections Minières du Maroc* (B.R.P.M.). Les recherches d'hydrocarbures sont coordonnées par le *Bureau des Recherches de Pétrole* (B.R.P.), et le Commissariat à l'Énergie Atomique (C.E.A.) apporte un concours actif à la découverte des minerais uranifères.

L'unification nécessaire

Malgré l'effort incessant des organismes coordinateurs, les divers bureaux risquaient de disperser leurs efforts. Cette faille dans les activités de recherches n'était qu'un aspect de la dispersion des tâches, car les liens étaient aussi ténus entre le secteur économique et celui de la défense nationale. M. Eirik Labonne avait cependant mis l'accent sur l'utilité d'un service coordinateur entre les trois armes afin que l'efficacité militaire vienne appuyer les efforts économiques. S'inspirant des idées de Bugeaud et de Gouvion-Saint-Cyr, le vice-président des Z.O.I.A. a proposé la création d'un *Bureau Africain de Travaux Industriels Militaires* (B.A.T.I.M.).

Dispersion des services, absence de liaisons transversales, division administrative qui faisait éclater le Sahara en trois grandes zones dépendant de capitales fort éloignées — Alger pour le Sahara algérien, Dakar et Brazzaville pour les zones sahariennes dépendant de l'A.O.F. et de l'A.E.F. — tels étaient les plus graves obstacles à la vitalisation du désert. L'ari-

dité, les distances, se sont révélées des obstacles naturels moins difficiles à tourner que ceux entretenus par la confusion et la division des responsabilités.

L'Organisation Commune des Régions Sahariennes

Il a fallu attendre 1956 pour que, sur l'initiative du Gouvernement de M. Guy Mollet, soit prise en considération par le Parlement une « *Organisation Commune des Régions Sahariennes* (O.C.R.S.) ».

Illustrant le prestige de la France en terre africaine, M. Houphouet-Boigny, Ministre Délégué à la Présidence du Conseil, député de la Côte d'Ivoire, a préparé et fait adopter un grand projet saharien. Au terme de la loi du 10 janvier 1957, l'Organisation Commune des Régions Sahariennes apparaît comme une solution d'esprit fédéral, sur le plan politique.

Dans le respect des prérogatives de chacun, il a été créé un *Ministère du Sahara* ayant essentiellement pour mission de dresser et d'exécuter les plans de mise en valeur, et accessoirement d'établir la coordination souhaitable dans les domaines politiques, administratifs et militaires.

Le Ministre est assisté d'un officier pour les problèmes militaires et d'un Comité Technique de Direction composé de 14 membres représentant les administrations intéressées et les grands secteurs de la vie économique française. Le Parlement souverain exprime son droit de contrôle par le canal d'une Haute Commission composée de 16 représentants des populations sahariennes et de 16 représentants des Assemblées Constitutionnelles de la République. Cette Haute Commission contrôle entre autre chose les programmes d'industrialisation. Elle est la première expression de la démocratie économique souhaitée par la France et par les diverses terres africaines qui entendent poursuivre avec elle l'œuvre de coopération amorcée avant guerre sous des formes moins libérales.

L'O.C.R.S. s'est donné pour mission la prospérité économique et sociale de l'ensemble franco-africain symbolisé par « l'Anneau Magique » du Sahara, selon l'heureuse formule de M. Houphouet-Boigny.

Aujourd'hui la France possède donc tous les instruments politiques, économiques et techniques souhaitables, coordonnés dans le cadre de l'O.C.R.S.

Pouvons-nous pour autant mener à bien la valorisation d'un territoire de 4 300 000 km², soit huit fois la France ou près de la moitié de la superficie de l'Union Française ? Ne serons-nous pas arrêtés par les obstacles que dresse un pays où l'unité de distance est de l'ordre de 1 000 km et celle de compte de l'ordre d'un milliard de francs ? En un mot, la France a-t-elle les reins assez solides pour tout faire et le faire vite ?

Deux constatations frappent l'esprit : quels que soient les moyens mis en œuvre, il est matériellement impossible de transformer en quelques saisons le désert en une immense oasis, pas plus qu'en une immense agglomération industrielle. Il est chimérique de vouloir violenter la nature.

Il faut choisir les objectifs de l'industrialisation en fonction d'impératifs géographiques, économiques, financiers et sociaux, sans minimiser l'importance stratégique de l'affaire ni l'opportunité politique. La planification tient compte de ces préoccupations en donnant la priorité aux développements énergétiques. Les découvertes de gaz naturel et de pétrole coïncident avec l'aggravation de notre position internationale en matière de ravitaillement énergétique.

Priorité au pétrole

Depuis l'alerte de la campagne d'Égypte en 1956, la situation de la France dans le Moyen-Orient, producteur de 90 % du pétrole que nous consommons, ne cesse de s'aggraver ; en compensation, nous avons les promesses de nos premières centrales nucléaires, l'apport, à point venu, du gaz de Lacq et des pétroles de Parentis et du Gabon. Mais nous avons surtout la certitude que notre sauvegarde dans le domaine énergétique réside dans l'apport saharien. Nous avons consommé, en 1957, 22,5 millions de tonnes de pétrole ; le Sahara nous fournira 12 millions de tonnes en 1962. La France, grâce au Sahara, n'est donc plus condamnée à l'asphyxie sur le caprice d'un souverain arabe.

Il convient maintenant de pousser simultanément la recherche et l'exploitation des découvertes au profit, non seulement de la Métropole, mais aussi des régions africaines qui ont besoin d'une forme d'énergie à coût faible pour moderniser leurs structures, créer les industries de transformation et de consommation indispensables pour parer aux conséquences dramatiques de la sous-alimentation, du retard social et de la poussée brutale des populations. C'est le cas, au premier chef, de l'Algérie dont la population approche le cap de 10 millions d'habitants et augmente au rythme de 2,5 % par an.

Penser pétrole c'est donc penser industrialisation, par l'utilisation combinée des ressources énergétiques et minières et des techniques nouvelles de la chimie.

L'édification des complexes industriels sahariens était fondée sur ce postulat initial. Les découvertes récentes le vérifient. C'est pourquoi il est maintenant possible de lancer les zones pilotes de l'industrialisation saharienne. Elles multiplieront le volume et la gamme des produits bruts, semi-finis ou manufacturés. Elles seront les points de force de la lutte contre le sous-emploi, étant génératrices de pouvoir d'achat de part et d'autre de la Méditerranée. Elles constitueront, sur le plan stratégique, des points d'appui décisifs pour la défense de l'ensemble français.

Ces objectifs ont été exprimés, en un saisissant raccourci sur les zones de développement intégré, par M. Eirik Labonne : « Une zone d'organisation industrielle doit donc viser la construction simultanée ou échelonnée et le fonctionnement solidaire d'organismes ou d'entreprises interdépendantes de caractères énergétique, minier, métallurgique, chimique, stratégique, c'est-à-dire une industrialisation impliquant des industries lourde, moyenne et légère et des organismes d'équipement stratégique ».

Le Sahara industriel en est encore à ses balbutiements. Les zones industrielles n'existent qu'en pointillé. Mais l'eau, la main-d'œuvre, les ressources énergétiques et minières, les techniques et les matériels d'exploitation ou d'évacuation, les moyens de financement, sont des éléments concrets. Comment les organiser dans une perspective de « développement harmonisé et intégré », tel est l'objet des deux zones industrielles sahariennes.

Les confins Algéro-marocains, zone industrielle n° 1 centrée sur Colomb-Béchar

Cette zone dispose de réserves d'eau douce et, au point de vue énergétique, elle est la seule région saharienne qui possède du charbon (100 millions de tonnes de réserve). En 1957, les Houillères du Sud-Oranais ont extrait 342 000 tonnes de houille, dont une fraction alimente une centrale thermique construite en 1942 et qui a l'inconvénient de fournir des kWh à un prix élevé.

Au point de vue humain, l'arrondissement compte 50 000 habitants, dont 44 000 dans le périmètre Colomb-Béchar - Kenadsa. Il convient d'ajouter à ce nombre 150 000 oasiens dans la vallée de la Saoura.

Située à 800 mètres d'altitude, Colomb-Béchar jouit d'un excellent climat. La ville ne cesse de croître en importance en raison de sa situation au carrefour de grands itinéraires en direction du Maroc Oriental, de l'Oranie, du Soudan, de la Mauritanie et

Le complexe de la région de Colomb-

CETTE région possède les seuls gisements actuellement exploitables de charbon saharien. Encore l'exploitation la plus ancienne, celle de Kenadza, est-elle économiquement déficitaire et volontairement limitée. Une partie de la production est cependant dirigée sur Oran pour y alimenter la centrale thermique. Avec la mise en exploitation du quartier de Ksiksou, plus au sud, qui livrerait un charbon plus riche et de teneur en soufre plus faible, la production pourrait être décuplée, mais l'obstacle est le transport. D'où l'idée d'utiliser la houille sur place et de créer un ensemble industriel centré sur Colomb-Béchar, avec une métallurgie du fer, grâce aux petits gisements voisins, trop faibles pour être rentables si le minerai devait être envoyé à la côte, et une métallurgie du manganèse, grâce au minerai de Guettara. Les possibilités locales en minerai de fer seraient cependant tout à fait insuffisantes, et seul le gisement de la Gara Djebilet (Tindouf) pourrait alimenter en quantité une sidérurgie rentable ; or, ce gisement se trouve à plus de 800 km. Les disponibilités énergétiques de Colomb-Béchar se trouvant alors insuffisantes, on a suggéré de recourir au gaz naturel de Hassi R'Mel (à 500 km) ou de Berga (à 900 km). D'autres études ont été faites pour trouver des emplois au charbon de Colomb-Béchar. On a retenu, en principe, la construction d'une grande centrale thermique dont le courant doit alimenter la région d'Oran, mais elle n'a pas dépassé le stade de la pose de la première pierre. On a pensé à la carbochimie, à des industries qui consommeraient sur place de grandes quantités d'électricité, mais des considérations de prix de revient freinent ces

du Sud Marocain. Elle est reliée par une route goudronnée — presque terminée — et par un chemin de fer à voie normale, le Méditerranée-Niger, à l'Oranie et à la mer. L'extension du grand Centre Inter-Armes d'Essais d'Engins Téléguidés (C.I.E.E.S.) et des liaisons aériennes rapides avec Alger, Oran et Paris, contribuent à son essor.

Les gisements de fer (environs de Colomb-Béchar et Taouz), de plomb et de zinc (Taouz), de cuivre (Djebel Klakh) et de manganèse (Djebel Guettara), complètent les virtualités industrielles à l'échelle régionale.

Le démarrage de l'industrialisation implique :

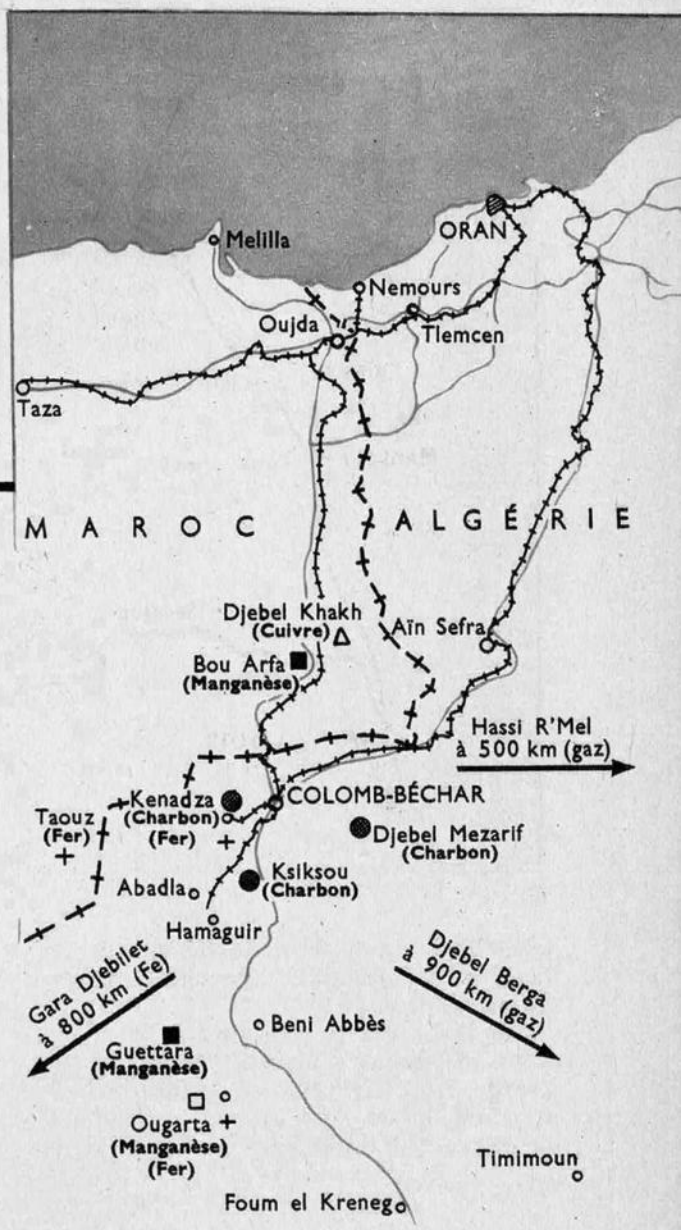
— l'abaissement du coût de l'énergie : construction d'une centrale thermique moderne utilisant la moitié de la production actuelle des houillères. Bien que la première pierre ait été posée en 1956, les travaux n'ont pas été entrepris. Ce grand projet pourrait être remplacé par l'amélioration de la centrale existante.

Un projet plus ambitieux prévoit l'utilisation du gaz naturel de Hassi R'Mel (à 500 km à l'Est) et de Djebel Berga (à 900 km au Sud-Est). Techniquement séduisant, ce projet se heurte au coût élevé de l'installation des pipes-lines.

— l'amélioration des communications : la construction de routes goudronnées est à l'étude en direction d'Abadla et Guettara.

Le chemin de fer Méditerranée-Niger, dont Abadla est le terminus provisoire, a établi des projets d'extension du rail, afin de desservir en même temps les zones agricoles des oasis vers Adrar, les gisements de fer de l'Ougarta, ceux de manganèse de Guettara, ceux de plomb, de zinc et de fer de Taouz, la zone militaire du C.I.E.E.S., tout en débouchant sur les zones peuplées du Tafilalet et à proximité du gisement de fer du Djebel Ougnat.

— les entreprises industrielles : plusieurs sociétés d'études ont présenté des projets d'exploitation des minerais liés à l'abaissement du prix de l'énergie, en particulier pour réaliser la synthèse de l'ammoniaque et la réduction du minerai de fer. Une briqueterie a été construite; enfin il est pro-



Béchar

initiatives. Le problème du charbon de Colomb-Béchar est très complexe et il est actuellement impossible de prévoir dans quel sens s'orienteront l'utilisation et l'évacuation directe ou indirecte de cette ressource d'intérêt incontestable pour l'économie algérienne, ce qui justifie les efforts financiers pour maintenir l'exploitation.

La voie normale d'évacuation du charbon de la région de Colomb-Béchar, et aussi du minerai de manganèse de Guettara est par Nemours, à au moins 700 km, et on traverse le Maroc. Un envoi sur Oran n'est pas actuellement possible, car la voie métrique qui va à Oran a un profil ne permettant pas le passage de trains lourds. La mise à voie normale a été étudiée ; elle nécessitera, sur un long trajet, un détour vers le nord-est pour franchir l'Atlas saharien avec une pente acceptable.

Itinéraires d'évacuation des minerais sahariens

jeté d'établir une fabrique de ciment artificiel et une usine de traitement du minerai de manganèse.

Chiffrons ces prévisions : 10 à 15 milliards de francs à investir, dont 75 % à la charge de l'État, pour construire une centrale de 60 000 kW et 270 km de voies ferrées ou de routes goudronnées et un barrage sur l'Oued Guir afin de développer les zones culturales tout en assurant l'approvisionnement en eaux industrielles.

Les confins Algéro-tunisiens, zone industrielle n° 2 centrée sur Tébessa

Cette zone s'étend en profondeur de Bône à la région des chotts. Située à cheval sur les limites de l'Algérie, du Sahara et de la Tunisie, elle intéresse l'avenir de trois millions d'habitants et possède les éléments essentiels au développement industriel. Le sous-sol est déjà exploité de façon intensive : fer de l'Ouenza, du Bou Kadra et de Djerissa (3 200 000 tonnes par an), phosphates du Djebel Kouif, de M'Zaïta et de Kalaa Djerda, antimoine de Aïn Kerma. L'Est algérien est la région dont le sous-sol paraît le plus riche. En plus des productions mentionnées, signalons les réserves de sel, de marbre et de minerai de cuivre.

Quant aux communications, elles bénéficient d'une implantation suffisante en aérodromes et pistes. En outre, les exploitations minières ont favorisé le développement des voies ferrées, dont deux à voie

LES seuls gisements de minerais sahariens concédés à des sociétés qui en ont préparé l'exploitation sont ceux de Mauritanie : Fort-Gouraud et Akjoujt. Pour le minerai de fer de Fort Gouraud, le choix s'opérera entre l'envoi sur Villa Cisneros et l'envoi sur Port-Etienne. Le premier parcours est le plus économique (400 km) ; mais il traverse un pays étranger et le port, qui ne peut être approfondi, ne convient guère qu'aux cargos jusqu'à 10 000 tonnes, alors que les mineraliers en construction sont portés à 30 000 tonnes et plus. Le second trajet est plus long (650 km), mais reste en territoire français et Port-Etienne pourra recevoir les plus grands mineraliers avec quelques aménagements. Une décision est imminente car l'exploitation de la mine peut commencer et sera poussée à 4 ou 5 millions de tonnes par an pour le minerai riche ; d'autres gisements voisins, moins riches mais abondants, garantissent une exploitation pour plusieurs générations.

Le cuivre d'Akjoujt sera évacué sur la base de 75 000 t/an de concentrés à 27 %, le traitement laissant 400 000 t/an d'une très bonne hématite à 68% de fer. Une usine pilote fonctionne depuis plusieurs années à 150 t/jour. L'évacuation peut se faire soit par une bretelle rejoignant la voie ferrée Fort-Gouraud - Port-Etienne (si cette voie est retenue pour le fer de Fort-Gouraud), soit par camions lourds, sur la bonne piste de 235 km qui relie Akjoujt à la mer. Le port d'embarquement pourrait être Mansour (Nouakchott), Coppolani ou mieux Tanit en aménageant un canal maritime à travers la sebkra de Ngdhamcha ou en ennoyant cette dernière qui se trouve à 3 m au-dessous du niveau de la mer. Le cuivre d'Akjoujt représente 600 000 t de métal. Il existe aussi dans cette région du fer et un gisement intéressant de tungstène, incomplètement prospecté jusqu'ici.

Le gisement de fer de Gara Djebilet (Tindouf), plus au nord, ne figure pas sur la carte. Son évacuation sur la base de 10 millions de tonnes/an a été étudiée. La distance à la côte en ligne droite est de 500 km, mais il faudrait construire un port en territoire marocain. Le transport à Agadir par voie ferrée, franchissant l'Anti-Atlas, entraînerait des frais de traction trop onéreux. On a aussi envisagé son envoi sur Colomb-Béchar. Il est impossible de prévoir de date pour l'exploitation de ce gisement, mais son importance est telle que tôt ou tard il sera aménagé.

---

normale (Tébessa-Tunis, Tébessa-Bône), auxquelles on peut ajouter à l'Ouest la voie ferrée Touggourt-Biskra récemment mise à écartement normal.

Deux handicaps freinaient jusqu'ici l'exécution de la mise en valeur : pénurie d'énergie et d'eau.

Les projets de développement industriel ont tenu compte de cette situation. Ils se situent sur deux plans, les uns étant de style classique, les autres de style révolutionnaire. Les projets classiques portent sur l'exploitation au rythme de 500 000 tonnes par an d'un important gisement de phosphates découvert au Djebel Onk (500 millions de tonnes de réserves), sur l'exploitation du gaz naturel du Djebel Foua, et sur l'utilisation du pétrole de Hassi Messaoud. Les projets révolutionnaires méritent leur qualificatif soit par leur nouveauté, soit par l'ampleur des investissements prévisibles :

— utilisation du gaz du Djebel Berga, à plus de 1 000 km de Tébessa,

— installation d'un ensemble sidérurgique en traitant sur place le minerai de fer, soit avec du coke importé, soit en appliquant la technique des fours rotatifs Basset,

— mise en valeur des chotts : situés à 20 mètres au-dessous du niveau de la mer, répartis sur 2 800 km², ils pourraient être reliés sur 400 km à la mer en perçant le seuil de Gabès. Cette gigantesque réalisation permettrait d'irriguer 9 000 km² au profit de l'agriculture et d'installer peut-être une centrale hydraulique. L'idée est ancienne, mais a fait l'objet récemment d'études précises.

Le Sahara stratégique

Dès l'Antiquité romaine, les confins sahariens constituaient la limite de l'Occident au seuil des terres inconnues d'où partaient les invasions. Pour couvrir les arrières de l'Algérie, la France a suivi l'exemple de Rome en étendant son contrôle vers le Sud. La pacification ne fut réellement achevée qu'en 1934.

Les officiers des affaires indigènes, les compagnies sahariennes ont ouvert au Sahara une ère de paix que le désert n'avait jamais connue.

Mais l'organisation militaire doit être profondément remaniée en fonction de deux impératifs : dans l'immédiat, la menace de subversion que la guerre d'Algérie fait

SUITE PAGE 156

Évacuation des pétroles et

Le pétrole saharien

RÉGION D'EDJELEH

L'envoi à la mer, par le trajet le plus court, aboutirait à Zouara, à l'ouest de Tripoli, où le chargement pourrait se faire par sea-lines (pipes-lines sous-marins). L'envoi sur la côte tunisienne serait faisable vers Zarzis ou mieux à la Skhira où les fonds de 15 m viennent près de la côte, mais la longueur du pipe-line serait nettement accrue. Les problèmes politiques soulèvent de nombreuses incertitudes.

Aussi l'envoi sur Hassi Messaoud sera-t-il probablement retenu. Le pipe-line de Hassi Messaoud à la côte ne sera pas saturé avant plusieurs années et pourra recevoir de 2 à 3 millions de tonnes par an venant d'Edjeleh. Le trajet maritime est moindre et l'évacuation reste en territoire français.

RÉGION D'HASSI MESSAOUD

Un pipe-line de 24 pouces (60 mm) doit évacuer 12 millions de tonnes/an sur Bougie en 1962. En 1965, le nombre de forages sera tel qu'il faudra poser un autre tube.

Les gaz naturels

Les gisements importants connus, de gaz seul, sont :

— Berga, à 1 300 km de la côte, trop éloigné pour que son évacuation soit envisagée pour le moment ;

— Hassi R'Mel, à 500 km au sud d'Alger. L'évacuation de ce gaz par pipe-line a été étudiée, avec deux branches vers Alger et vers Oran. Mais l'opération ne peut s'amortir qu'avec au minimum 1 milliard de m³ par an que Oran et Alger réunies ne pourraient absorber. De plus, il s'agit d'un gaz « humide » contenant 200 g de produits condensables par m³ (gasoline, butane, propane). Comme il faut un million de tonnes de liquide pour amortir un pipe-line venant à la côte, il faudrait extraire 5 milliards de m³ de gaz, sous peine de perdre les produits condensables, car il ne peut être question de les transporter par camions sur cette distance ni de construire une voie ferrée pour un si petit tonnage. Or, le gaz reviendrait trop cher à la production si les produits condensables étaient perdus, car il faudrait quand même avoir une installation de dégazolinage.

En dehors de ces gaz naturels, il faut considérer la production de gaz de pétrole liée à l'extraction du pétrole brut. Ce gaz sous pression remonte avec le pétrole et il s'en dégage 200 m³ par tonne de pétrole à Hassi Messaoud. Dans quelques années, avec 12 millions de tonnes de pétrole par an, on disposera de 2,5 milliards de m³ de gaz qu'il ne faudra pas perdre. (A Edjeleh, la quantité de gaz est beaucoup plus faible et, étant donné la distance à la côte, on le brûle à la torchère comme au Moyen-Orient.) Le seul élément du prix de revient de ce gaz est son transport. L'envoi de ce gaz a été étudié vers Bône où se prépare un complexe industriel qui pourra en consommer 1,5 milliards de m³ par an : sidérurgie avec fours électriques alimentés par une centrale thermique chauffée au gaz, cimenterie utilisant le laitier, fabrication d'engrais azotés qui utilisera l'azote disponible à l'aciérie et l'hydrogène du cracking ; reconversion de la centrale électrique alimentant l'Est algérien et l'Ouest tunisien ; calcination des phosphates les enrichissant de 10% avant leur embarquement.

Dans l'état actuel du développement de l'Algérie, seule la région de Bône est susceptible de recevoir du gaz du Sahara. Des décisions d'exécution sont imminentes. Par contre, on ne peut envisager l'utilisation du gaz d'Hassi R'Mel en Algérie, même avec les prévisions de développement les plus optimistes. D'autres solutions sont possibles.

MÉTHANIERS

Le gaz naturel contient 70% de méthane qui peut se transporter, liquide, à —170° C, dans des containers ouverts à double paroi. Des navires de haute mer, des méthaniers, sont à l'étude pour ce transport.

PIPE-LINE SOUS-MARIN

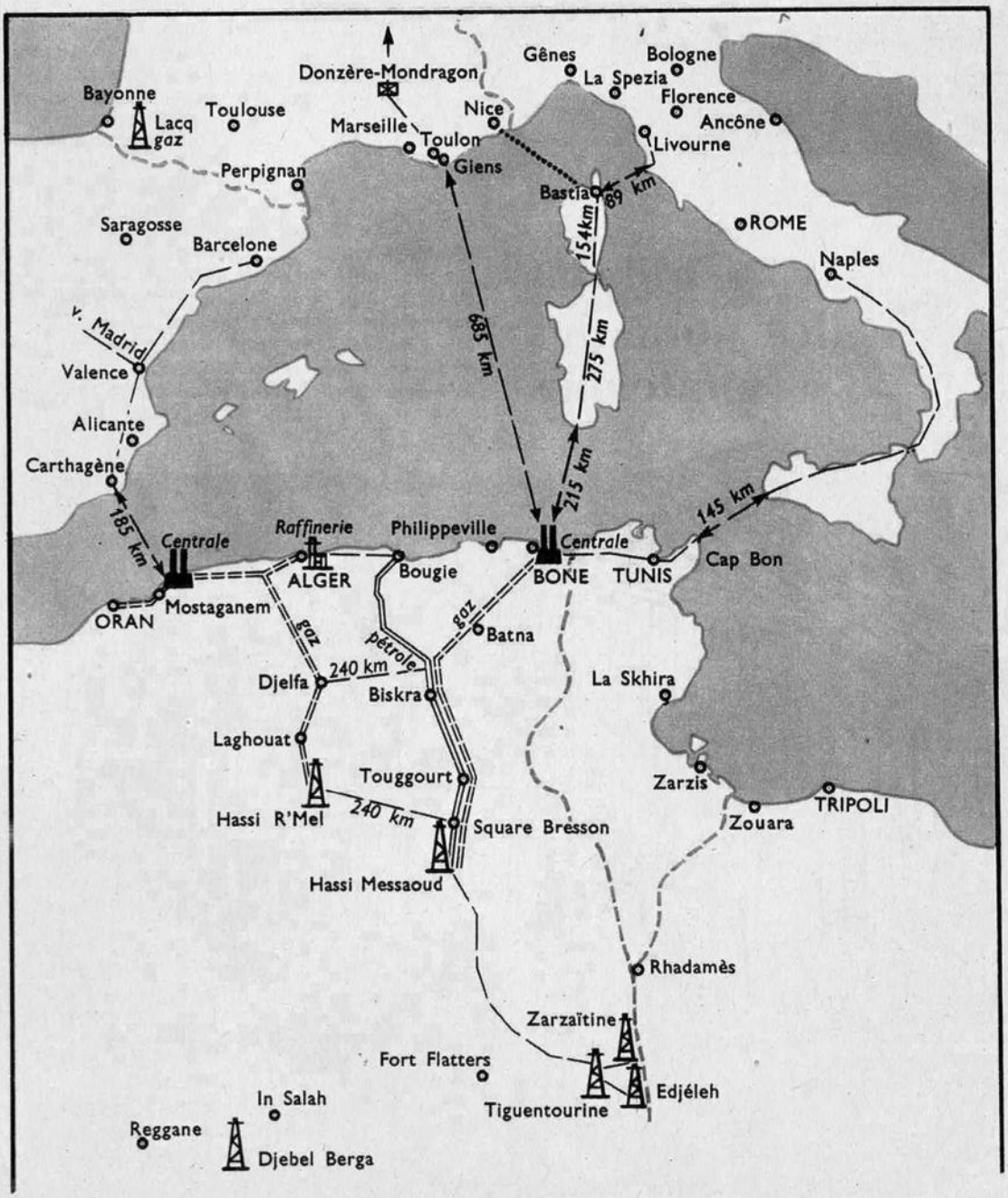
Un pipe-line est à l'étude qui passerait par l'Espagne vraisemblablement et rejoindrait vers Perpignan le feeder de Lacq. L'immersion d'un tube rigide à 2 500 m (pression 250 kg/cm²) et sa protection contre la corrosion posent des problèmes non résolus.

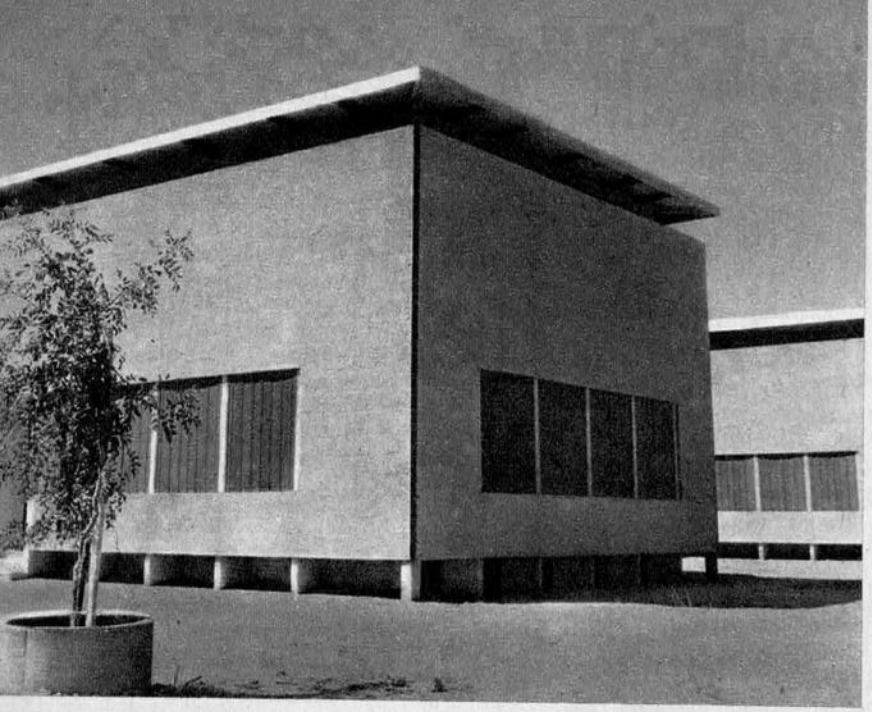
CABLE ÉLECTRIQUE SOUS-MARIN

Il s'agit d'utiliser le gaz dans des centrales thermiques pour produire de l'électricité envoyée par câble à courant continu haute tension. Plusieurs projets sont à l'étude suivant les itinéraires figurés sur la carte : centrale à Mostaganem recevant le gaz de Hassi R'Mel (1 milliard de m³/an) et livrant le courant à l'Espagne tout en desservant Alger et Oran ; centrale à Bône recevant le gaz de Hassi Messaoud (jusqu'à 3 milliards de m³/an) et peut-être de Hassi-R'Mel si une

projets d'exploitation des gaz

bretelle relie les deux pipes-lines, et dirigeant le courant vers l'Italie, soit par la Tunisie et la Sicile, soit par la Sardaigne et la Corse, ou directement vers la France par Toulon. La réalisation de câbles 400 000 volts continus et celle de mutateurs pour la conversion à la sortie en courant alternatif ne pose pas de problèmes ardus. Mais à cette tension, la limite de puissance transmissible à 700 km est au plus de 500 MW (500 000 kW) ; on pourra donc être amené à multiplier le nombre de lignes de transport, surtout pour les traversées en eau profonde où, pour des raisons mécaniques, on se limitera à 200 MW. Une autre solution est à l'étude pour une tension de 600 kV qui permettrait de transporter 1 000 MW à 700 km dans des conditions très économiques, mais tous les problèmes que posent la fabrication des câbles et leur pose ainsi que la construction de mutateurs de telle puissance ne sont pas encore résolus.





LES CABINES CARMETALL →

Ces cases sont constituées d'une partie médiane fixe et de deux parties latérales mobiles, ce qui permet de les transporter aisément tout en offrant un grand volume utilisable. Toit et plancher sont isolés, portes et fenêtres sont pourvues de joints étanches au sable.

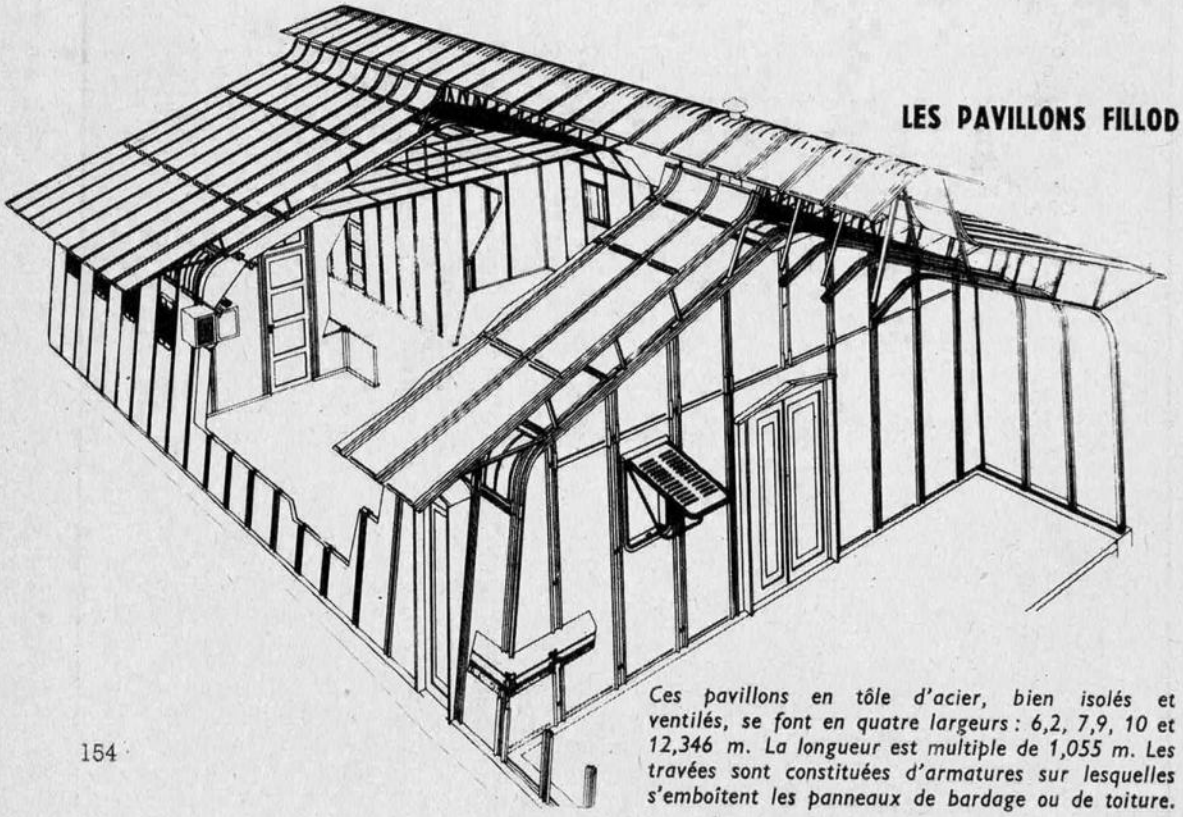
← CONSTRUCTIONS FIXES

Dans les centres fixes, là où il est possible de construire en « dur », la technique moderne permet de s'affranchir de la construction saharienne classique. Des volets étanches autoriseront des fenêtres normales; les murs à double paroi, isothermiques et très légers, amélioreront la circulation d'air et la climatisation.

L'habitat des nomades modernes

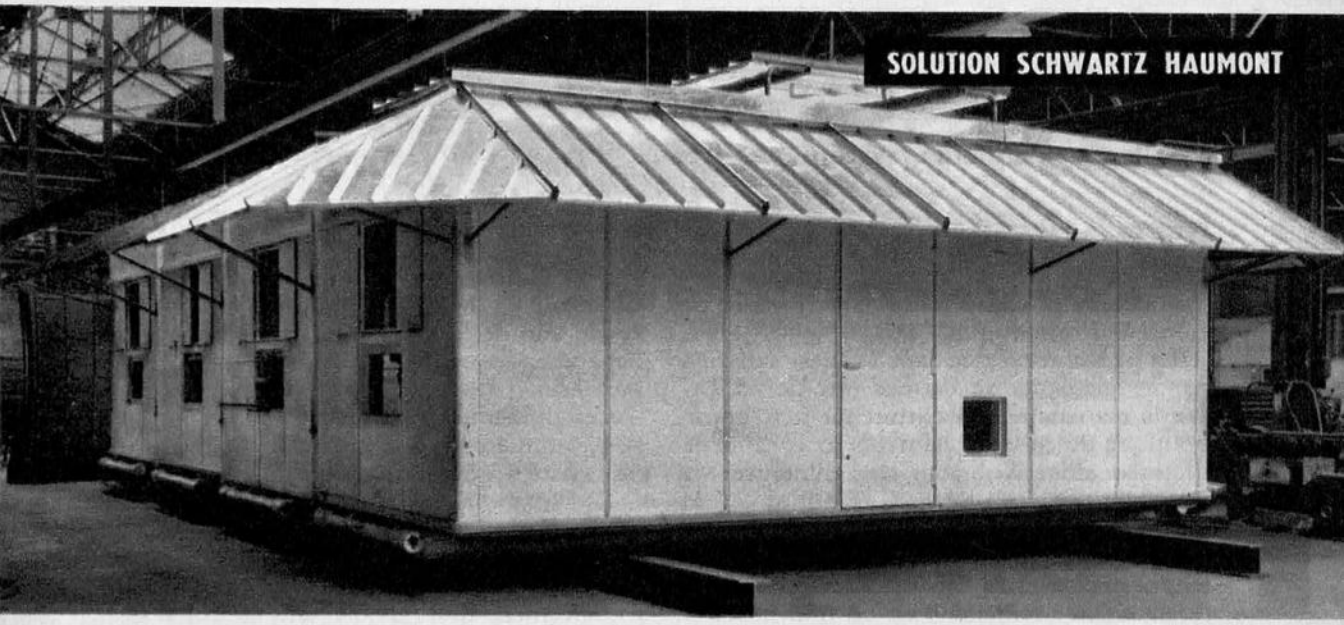
PRÈS des puits de pétrole et des mines, ce sont parfois, comme à Hassi Messaoud, de véritables petits villages qu'il a fallu créer en partant de rien. Les ressources locales étant nulles, il a fallu transporter par camion, et même par avion, cabines de repos, bureaux, laboratoires, salles communes, etc.,

LES PAVILLONS FILLOD

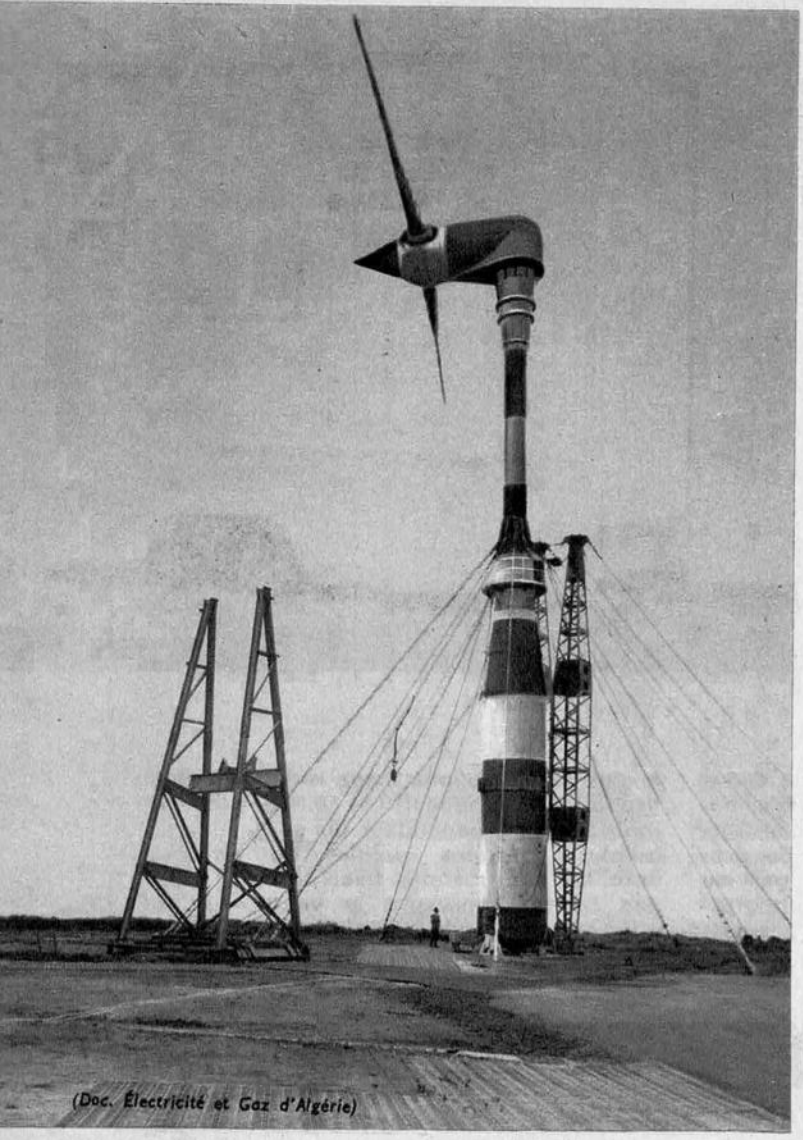


Ces pavillons en tôle d'acier, bien isolés et ventilés, se font en quatre largeurs : 6,2, 7,9, 10 et 12,346 m. La longueur est multiple de 1,055 m. Les travées sont constituées d'armatures sur lesquelles s'emboîtent les panneaux de bardage ou de toiture.

le tout aménagé de telle sorte que la vie devienne possible dans des conditions climatiques souvent très dures. Tous les constructeurs sérieux qui se sont attaqués au problème de ces nouveaux habitats ont eu recours à l'acier, seul capable de supporter sans déformations sensibles des transports et des manipulations assez rudes. La climatisation est de rigueur. Les solutions, démontable ou non, dépendent du genre des installations désirées, mobiles ou semi-fixe. Pour les constructions fixe, « en dur » près des centres sahariens, la ventilation doit aussi être particulièrement étudiée.



Les constants déplacements des cabines de camp à camp ont amené cette firme à réaliser des cabines monobloc Standard d'une surface totale de 23 m² dont le montage complet est effectué en atelier. Elles peuvent être livrées entièrement meublées. Sur demande, il est construit des cabines plus grandes par multiple de 0,975 cm, module des panneaux des cabines standard. Chaque ensemble est susceptible de recevoir une couverture, en toile, en roseaux ou en tôle d'acier. Ci-dessous une salle de 7 × 9 mètres.



(Doc. Électricité et Gaz d'Algérie)

L'éolienne « Enfield » système Andreau

L'énergie tirée du vent

AU Sahara, où les ressources énergétiques sont rares loin des puits de pétrole ou de gaz, l'énergie éolienne est particulièrement bienvenue. Depuis 1953, une éolienne de 25 à 30 ch fonctionne à Adrar. C'est une des plus puissantes éoliennes classiques qui soient en service : placée sur une tour de 20 m de haut ses pales de 7,50 m entraînent une pompe qui peut fournir un débit de 20 à 50 l/s, pour un vent de 7 à 8 m/s. D'un principe très différent, l'éolienne à dépression, réalisée par différentes firmes anglaises pour le compte de la Central Electricity Authority, et d'après les idées de l'ingénieur français Andreau, est en expérimentation depuis 1957 sur la colline « Grand Vent » à 10 km d'Alger. Elle a atteint, et souvent dépassé, la puissance nominale de 100 kW pour laquelle elle était prévue. Ses pales creuses de 12 m, ouvertes à leurs extrémités, sont montées sur une tour, elle-même creuse, de 30,5 m de haut. La rotation de l'hélice crée, dans la tour, une dépression et par suite une circulation d'air qui entraîne une turbine accouplée à un alternateur. Les transmissions sont ainsi simplifiées au maximum ce qui donne une très grande souplesse de fonctionnement.

SUITE DE LA PAGE 151

peser sur le Sahara; à terme, la redistribution des points de défense dans le cadre de la stratégie atlantique.

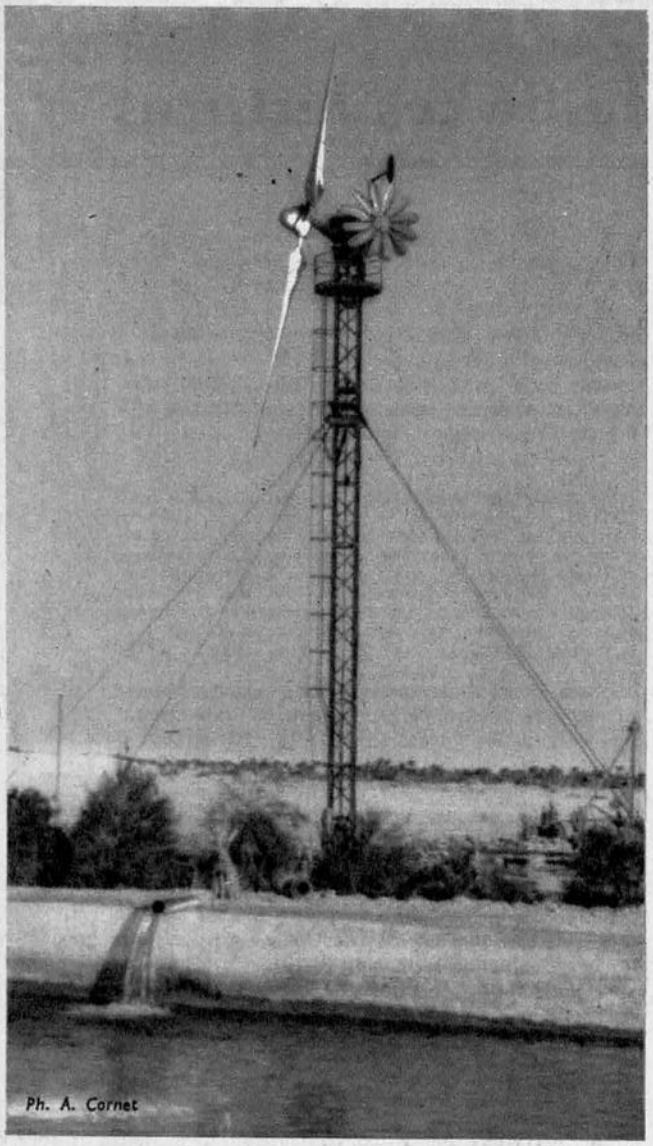
La pression exercée dans l'Ouest saharien par les éléments de l'armée dite de « Libération marocaine » est entretenue par l'appui politique de certains éléments marocains de l'Istiqlal dont l'objectif est d'intégrer la zone de Colomb-Béchar, Tindouf et la Mauritanie à l'empire chérifien. Il est de plus en plus clair que le plan de subversion tend à encercler le Sahara en étendant l'influence anti-occidentale en un immense arc de cercle du Maroc à la Lybie, par la Mauritanie, le Sénégal, le Soudan et le Tchad.

En Tunisie, en Algérie et au Maroc Oriental, le F.L.N. agit pour fermer le cercle afin de bloquer la mise en valeur du Sahara en coupant les voies d'évacuation vers la mer.

Ces difficultés indiquent à quel point les zones minières ou industrielles deviennent des centres névralgiques.

Ils sont situés sur le pourtour du désert, souvent à proximité des frontières (fer à l'Ouest, pétrole à l'Est.) La rébellion entretient un climat d'insécurité qui freine l'avancement des travaux sans pouvoir les interdire.

Face à ces obstacles le Commandement a



L'éolienne classique d'Adrar

réagit par une surveillance de tous les instants et par la protection des prospecteurs et des installations. La situation actuelle peut fournir l'occasion de créer le Bureau Africain des Études et Travaux Industriels, préconisé par M. Eirik Labonne. La France renouerait ainsi avec une tradition romaine, déjà reprise par l'armée d'Afrique, en utilisant le Génie militaire dans les travaux de valorisation, en particulier pour l'infrastructure des communications. Toutes les écoles d'application militaire pourraient aussi apporter le concours de leurs spécialistes, selon le projet préconisé par M. Longchambon.

Consolider la présence française en terre d'Islam tout en amplifiant l'action de valorisation industrielle suffirait à justifier l'interdépendance du civil et du militaire. Des considérations de grande portée internationale apportent de nouveaux arguments dans le même sens : l'Europe occidentale a besoin de recul stratégique; ses réserves industrielles et défensives sont concentrées sur un espace réduit et, par conséquent, très vulnérables en cas d'attaque massive et brutale par l'aviation ou par le lancement de quelques bombes atomiques.

Sur le littoral nord-africain, la plaine marocaine, Mers-el-Kébir et Bizerte, constituent trois verrous de la défense atlantique. La déconcentration de l'industrie lourde n'en est pas pour autant assurée : l'U.R.S.S. a réparti ses réserves industrielles au delà de l'Oural par l'organisation d'immenses combinats; nous devons agir selon les mêmes méthodes au delà de la Méditerranée. Le Sahara s'y prête : vastes étendues, réserves minières et énergétiques, eaux souterraines.

Deux piliers maîtres se dressent à l'Ouest et à l'Est : en aménageant les confins algéro-marocains (Z.O.I.A. N° 1) et les confins algéro-tunisiens (Z.O.I.A. N° 2) nous sommes en mesure de remplir trois objectifs essentiels :

— échelonnement du personnel et du matériel;

— développement d'industries intéressant la défense militaire (aciers spéciaux, ferro-manganèse, etc.);

— octroi de facilités logistiques aux forces opérationnelles.

A l'Ouest, les confins algéro-marocains desserviront les bases aériennes, terrestres et maritimes de Marrakech, Agadir, Casablanca, Mers-el-Kébir et de Colomb-Béchar. A l'Est, les confins algéro-tunisiens soutiendront les bases d'Ajaccio, de Bizerte, d'Algérie et du Nord-Est saharien.

Indiquons enfin le rôle de premier plan que joue, au sud, Fort-Lamy comme plaque tournante des relations Centre-Afrique.

En définitive, la défense et la valorisation du Sahara ne sont que les deux aspects d'une seule réalité.

Les incertitudes d'hier sur la frontière libyenne et le Fezzan, celles d'aujourd'hui sur les troubles de croissance que traversent les peuples limitrophes du désert, incitent à ne jamais séparer les impératifs stratégiques des perspectives économiques.

Pierre CORNET
Conseiller de l'Union Française

SCIENCE et VIE MAGAZINE

vous conseille ces lectures

RÉALITÉS ET PROMESSES SAHARIENNES. Strasser D. — Aspects juridiques et économiques de la mise en valeur du Sahara français. 240 p. 16 × 25. 8 cartes inédites et 16 illustrations hors-texte. 1957 ... **1 500**

Si les promesses sahariennes font penser au pétrole, il ne faut pas oublier les autres richesses de ce désert de 4 millions de kilomètres carrés. Les mines sont loin d'être négligeables. Mais le livre de D. Strasser vise à mettre en lumière les possibilités futures de ce grand désert et leurs répercussions sur la prospérité de l'Afrique du Nord, de l'Afrique Centrale, de la Métropole, voire de l'Europe. Après avoir montré l'organisation actuelle de la mise en valeur du Sahara français et donné l'inventaire de ses richesses, l'auteur analyse les méthodes mises en œuvre.

SAHARA, TERRE DE DEMAIN. Cornet P. — Les déserts et le Sahara : le milieu désertique. La mise en valeur du désert. Quelques réalisations. La géographie physique du désert. Le Sahara au point de vue humain. Bilan du Sahara. L'agriculture. La mise en valeur industrielle. Les moyens de communication. L'énergie. Vers l'Afrique saharienne française. Le Sahara stratégique et le Fezzan. Conclusion. 270 p. 14 × 22,5, 3 cartes, 16 pl. Photos hors texte. 1956 ..... **1 200**

En écrivant ce livre avant les réalisations industrielles actuelles du Sahara, l'auteur a su dégager trois idées maîtresses pour la mise en valeur des richesses du grand « désert ». Le sens humain; l'intérêt national; l'organisation créatrice. P. Cornet a su ainsi dresser le bilan du Sahara, des points de vue agriculture, communications, énergie et industrie.

LE SAHARA. Géologie. Ressources minérales. Mise en valeur. **Furon R. — Géographie générale, préhistoire, histoire:** Les frontières du Sahara. Géographie générale du Sahara français. L'évolution préhistorique du Sahara. Quelques pages d'histoire. Les populations du Sahara, leur mise en place, leurs ressources. L'exploration et l'occupation du Sahara français. **La structure géologique du Sahara français:** Stratigraphie générale. Géologie régionale. **Les ressources minérales du Sahara français.** La prospection minière dans le Sahara. Les ressources minérales du Sahara français. Les conditions de la mise en valeur du Sahara français. 300 p. 14 × 23, 22 figures. 1957 ..... **2 000**

Reconnu à la France, en 1890, le Sahara ne lui fut jamais disputé, tant qu'il fut considéré comme un désert parfait. Les choses devaient changer après 1945, lorsque les explorations techniques en révélèrent les richesses, notamment les mines et le pétrole. Il va sans dire que l'on trouvera, dans cet intéressant ouvrage du géologue éminent R. Furon, tout ce qui concerne les ressources du Sahara. Mais on le comprendra mieux après avoir lu le chapitre important consacré à la géologie du Sahara. On lira aussi avec intérêt toute l'histoire du Sahara (géographie, ethnologie) et l'œuvre immense de pacification que la France a réussi à mener à bien.

HISTOIRE DE L'AFRIQUE. DES ORIGINES A NOS JOURS. Cornevin R. — La préhistoire africaine. l'Afrique de l'Antiquité. Invasions arabes et Islam. L'Afrique Noire avant les Européens. Reconnaissance côtières. Négriers et comptoirs. Les explorations africaines. Conquête et partage de l'Afrique. Méthodes coloniales européennes. Les deux guerres et leurs conséquences. Transformations dans les structures économiques et sociales. 404 p. 14 × 22,5; 5 cartes. 1956.... **1 300**

Mises à part quelques zones remarquablement développées (Congo belge, Afrique du Sud, Maroc, Tunisie pour les mines; Suez, Dakar, Alger pour le trafic), l'Afrique est restée un continent obscur jusqu'à la deuxième guerre mondiale. Au contraire depuis 1945, elle est entrée en effervescence. Cette histoire de l'Afrique, qui commence aux premiers hommes, étudie son évolution pendant la période avant l'entrée des Européens (comptoirs), les grandes explorations, la conquête, le partage et les diverses colonisations, l'influences de deux guerres. Elle présente enfin les faits plus récents où la passion politique et partisane fausse trop souvent l'esprit de l'observateur.

SAHARA. Normand S. et Acker J. — 168 p. 18,5 × 23,5, 81 photos, 1 carte. 1957 ..... **1 600**

Cet intéressant panorama très bien illustré, nous montre aussi bien les oasis, jadis somnolentes, transformées en bases tumultueuses par les compagnies pétrolières que les grandes solitudes où de jeunes géologues recherchent les métaux rares (uranium). Mais cette irruption de la grande industrie n'a pas anéanti la part du silence et du songe. Les auteurs ont retrouvé les sortilèges sahariens. Le Sahara est assez vaste pour tous les rêves.

POISSONS DÉCORATIFS D'AQUARIUM. Bourgeois M. — Le matériel. Les ennemis des poissons. La nourriture. Le choix des poissons. Les espèces décoratives. Conseils pratiques. 136 p. 12 × 18,5. 61 fig. 1957.. **450**

Les magnifiques collections de l'Aquarium du Musée de la France d'Outre-mer (1931) les ont révélés au grand public. L'auteur s'attache à donner des conseils pratiques sur l'aquarium et la façon de créer une ambiance favorable à la vie du poisson d'ornement.

INTRODUCTION A LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE. Mc Closkey J. F. et Trefethen F. N. — Traduit de l'américain et adapté par Verhulst M. et Lavault J. 206 p. 16 × 25. 36 fig. Relié toile, sous jaquette couleurs. 1957 ..... **2 150**

Il est bien connu que la recherche opérationnelle née presque simultanément en Angleterre et aux États-Unis pendant la dernière guerre, a permis aux chefs militaires de prendre d'importantes décisions reposant sur les bases scientifiques au lieu des données subjectives de la tactique traditionnelle. Dans le domaine industriel et commercial, où la complexité des problèmes en fait un outil tout désigné, il s'agit de créer des modèles mathématiques qui simulent le « comportement optimum » de l'entreprise et de rechercher, par ces modèles, la meilleure stratégie industrielle ou commerciale à adopter. Cet ouvrage donne, sans doute pour la première fois en France, un tableau d'ensemble de cette nouvelle discipline, qu'il ne faut pas cependant considérer comme une panacée.

LES AGRUMES. Manuel de culture des citrus pour le bassin méditerranéen. Rebour H. — Généralités : Classification. Principales utilisations et situation économique des agrumes. **Technique de la production des agrumes.** Création d'une orangerie. Étude préalable; réalisation technique. Entretien d'une orangerie. Le travail du sol. La fumure de production. L'irrigation. La taille des agrumes. Soins divers à donner à une orangerie. La remise en état d'une plantation défectueuse ou négligée. La défense sanitaire. Récolte et rendements. **Commercialisation des fruits.** 288 p. 16 × 24. 65 fig. 4e édition entièrement refondue et mise à jour. 1957..... **2 000**

La production des agrumes, dont les oranges sont les plus répandues, est liée de très près aux conditions climatiques, à la nature du sol et à l'entretien de l'orangerie. Le planteur doit acquérir des notions étendues sur tout ce qui concerne son activité. Un conseil technique suffit parfois à sauver une plantation. Ce manuel a été précisément rédigé pour donner avec simplicité et clarté tous les éléments nécessaires à la réussite de la récolte jusqu'à son conditionnement et à son emballage.

IRRIGATION. Poirée M. et Ollier Ch. — L'irrigation ; facteur de prospérité. **Moyens de se procurer de l'eau. Mise à disposition des arrosants des eaux d'irrigation :** Origine et amenée des eaux d'irrigation. Canaux. Stations élévatoires. Les ouvrages d'art en irrigation. **La théorie de l'irrigation.** Nécessités et effets. Principes fondamentaux de l'irrigation. Les facteurs naturels et les éléments pratiques. Organisation d'une irrigation. **Les systèmes d'arrosage.** Classement des systèmes d'arrosage. Irrigation par ruissellement ou déversement, par submersion (ou inondation). Irrigation par infiltration, par aspersion. Économie des irrigations. 290 p. 16 × 24, 105 fig. 1957 ..... **3 000**

Le problème de l'irrigation, important facteur du rendement des cultures, se pose de plus en plus pour assurer l'alimentation des populations en croissance rapide. Les auteurs se sont attachés à traiter les différents aspects de cette question d'une façon à la fois générale et précise. Cet ouvrage n'est donc pas un guide pratique pour la solution des cas particuliers, mais une œuvre d'ensemble permettant de juger des avantages et des inconvénients des divers types d'irrigation. Il est ainsi accessible et utile à tous pour la réalisation du vaste complexe que constitue un réseau d'arrosage (géomètres, agronomes, constructeurs d'ouvrages, agriculteurs, etc.). L'irrigation par aspersion, modernisation de l'emploi de l'arrosoir antique, y est largement exposée.

RÉDUCTION DES MINERAIS DE FER. Durrer R. — Traduit de l'allemand par Auxenfans M. **Matières premières et sources d'énergie dans le monde.** Minerais de fer, ferraille, charbon, pétrole, oxygène, énergie électrique. **Bases théoriques :** systèmes fer-oxygène, fer-carbone, carbone-oxygène, fer-oxygène-carbone, fer-oxygène-hydrogène Laitiers. **Réduction en fer solide.** Procédés Höganäs et Wiberg. **Réduction en fer pâteux.** Procédé Krupp-Renn. **Réduction en métal liquide.** Le haut fourneau, le haut fourneau électrique, vent enrichi : procédés : Demag-Humboldt, au ferro-coke, Basset, de Stürzelberg, pour four Lubatti et autres procédés synthétiques. 154 p. 16 × 25. 45 fig. 1957.. **1 680**

La sidérurgie cherche depuis longtemps à s'affranchir des servitudes imposées par le haut fourneau : composition du lit de fusion, choix du combustible, et tente d'éliminer le stade intermédiaire de la fonte pour élaborer directement l'acier à partir du minerai. L'auteur de cet ouvrage nous présente tout d'abord un bilan détaillé des progrès réalisés dans ce domaine et soutient la thèse d'une transformation fondamentale imminente de la sidérurgie, qui verra la disparition du haut fourneau traditionnel.

ORGANISATION INDUSTRIELLE. Applications industrielles. (Formation des Techniciens et des Cadres). **Castell A. —** Normalisation. Classement. Approvisionnement, magasins, comptabilité matières. Bureau d'études. Préparation, lancement et suivi de la fabrication. Mise en route méthodique des fabrications. Contrôle de la fabrication. Rémunération. Le climat de travail. Établissement du prix de revient. 290 p. 18 × 22. 133 fig. nombreux tableaux et graphiques. 1958..... **1 950**

Dans cet ouvrage, où le stade scolaire est dépassé, l'auteur a cherché à retenir d'abord l'attention du professionnel, puis à lui donner les éléments immédiatement utilisables ou faciles à adapter. Chaque question est commentée et suivie de ses modalités d'application. Ainsi les divers modes de classement sont traités en fonction du but recherché et un exemple très détaillé de la fabrication d'une pièce de mécanique montre comment la corrélation des bureaux d'études et de dessin est indispensable à la réussite. Le problème de la rémunération y est également clairement développé.

LA CULTURE DU PEUPLIER. Pourtret J. — Généralités sur les peupliers. La populiculture. La production des Peupleraies et l'utilisation du bois de peuplier. 256 p. 13 × 19,5. Nbr. photos, fig. graphiques et tableaux 1957 ..... **1 000**

Le peuplier, partie intégrante du paysage de beaucoup de campagnes françaises, produit chaque année en France 1 200 000 m³ de bois apprécié en papeterie, dans l'emballage (laine de bois), pour les charpentes, la menuiserie courante, les allumettes, le contreplaqué, les panneaux lattés et de fibre. C'est le résultat de nombreuses années d'études et d'expériences dont l'auteur fait bénéficier tous ceux qu'intéresse le développement du peuplier en France.

CONSTRUIRE ET RÉALISER. Manuel de l'ingénieur d'études (Industries mécaniques). Tschœhner H. — Traduit de l'allemand par Bohn C. Le bureau d'études. Le constructeur. Différenciation des constructions. Évolution d'une construction depuis la définition du problème jusqu'à sa solution complète. Le journal de construction. Éléments de base de la construction et influence des facteurs extérieurs. Modalités de la construction. La construction et la fabrication, la tradition, ses développements, le calcul, les essais, la responsabilité, l'adaptation au but et l'esthétique, les délais, la division du travail, la terminologie. Les cinq parties de la réalisation. Directives générales de la réalisation. La réalisation envisagée de points de vue plus particuliers. 256 p. 16 × 25. 170 fig. Relié toile, sous jaquette. 1957 ..... **2 500**

Construction et réalisation, c'est-à-dire étude de l'ensemble et étude des détails d'une pièce de mécanique, sont inséparables et ne constituent que deux aspects distincts d'un même travail, tous deux dirigés par l'ingénieur d'études. L'auteur a su cependant diviser son livre en deux grandes parties, l'une exposant les règles générales relatives à la conduite de l'étude dans ses rapports d'ensemble, l'autre les règles particulières à l'étude de détail des pièces détachées qui concrétisent cet ensemble. On y trouve aussi toutes directives utiles, illustrées de nombreux exemples concrets pour la conception et la réalisation des pièces tournées, coulées, soudées, découpées, pliées, etc., en vue de la meilleure utilisation de la matière et du maximum possible de résistance.

MANUEL PRATIQUE DE DÉPOTS ÉLECTROLYTIQUES. (Encyclopédie Roret). **Arbellot L. —** Généralités sur l'électrolyse. Matériel. Dépôts électrolytiques. Préparation des pièces. Cuivrage. Nickelage. Chromage. Étamage. Cadmiage. Zingage. 146 p. 12 × 18. 50 fig. 1957 ..... **580**

Un ouvrage concis, utile à tous, de l'ingénieur à l'ouvrier. Après un rappel de notions d'électricité et d'électrolyse, la préparation des pièces, opération importante, y est particulièrement développée. Une grande place est faite à la normalisation et au contrôle trop souvent négligé.

CHIENS DE DÉTERRAGE (Terriers et Teckels). **Depoux R. —** Race et standard. Élevage et toilette. Dressage et épreuves. Technique de la chasse sous terre. 124 p. 14 × 18, 12 fig. et photos. 1957 ..... **525**

La chasse sous terre, blaireau et renard en particulier, est actuellement en faveur. L'étude des races de terriers et teckels motive le choix du chien le meilleur selon le but à atteindre. Cette étude est naturellement suivie des « commentaires d'un utilisateur », de l'exposé des épreuves pour chiens de déterrage, de leur dressage et de la technique de la chasse sous terre (animaux de chasse et conduite du déterrage).

DICTIONNAIRE PRATIQUE DES PIERRES PRÉCIEUSES ET D'ORNEMENTATION. André A. suivi d'une note sur les pierres synthétiques. **Déribéré M. —** 60 p. 15 × 24. I **500**

Dans l'ordre alphabétique, A. André donne pour chaque pierre ses caractéristiques, ses variétés naturelles, ses appellations fantaisistes, ses imitations. Des tables de constantes physiques terminent cette partie. M. Déribéré nous rappelle ensuite les travaux effectués pour la reproduction synthétique des gemmes, dont certaines donnent lieu à une véritable industrie, et les procédés d'expertises du vrai et du faux.

DICTIONNAIRE ANGLAIS-FRANÇAIS ET FRANÇAIS-ANGLAIS DES TERMES DE MARINE. Hazard J. — 198 p. 13,5 × 17,5. 2e édition revue et corrigée. 1956 ..... **1 200**

Cet ouvrage n'a pas pour but d'expliquer des termes de marine, mais de donner le ou les traductions qui correspondent, aussi exactement que possible, au mot étudié. La plus large place est faite aux expressions relatives au navire, à sa construction, à sa manœuvre et à sa conduite, en ne retenant pour les appareils moteurs et évaporatoires que les termes strictement courants.

●

Tous les ouvrages signalés dans cette rubrique sont en vente à la

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

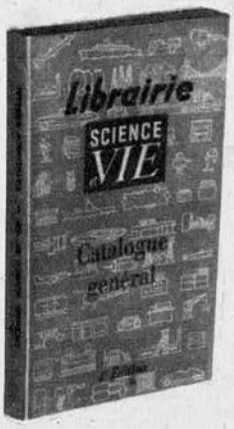
24, rue Chauchat, Paris-IXe - Tél. : TAI. 72-86 - C.C.P. Paris 4192-26

●

Ajouter 10 % pour frais d'expédition.
Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

Une documentation indispensable :

Notre CATALOGUE GÉNÉRAL (5e édition 1957), 5.000 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés et classés par sujets en 35 chapitres et 180 rubriques 425 pages, 13,5×21. Poids : 420 gr ..... Franco **250 fr**



Le directeur de la publication Jacques DUPUY — Imprimerie des Dernières Nouvelles de Strasbourg — Dépôt légal : 8075/58

PÉTROLE de HASSI-MESSAOUD
GAZ HUMIDE de HASSI-R'MEL

découverts en 1956 par

S. N. REPAL

SOCIÉTÉ NATIONALE DE RECHERCHE ET D'EXPLOITATION DES PÉTROLES EN ALGÉRIE

S.A. au capital de 18.000.000.000 de fr.

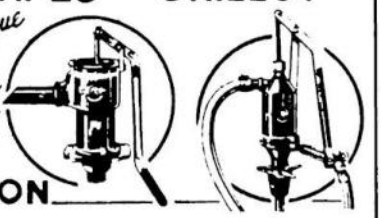
Siège : rue Aspirante Denise-Ferrier
HYDRA-BIRMANDREIS (ALGER)
B. P. 105 Alger **Tél. 625-80**

Bureau de Paris : 23, rue Galilée - 16e
Tél. PASsy 04-04

Pour Eau
Pour Huiles
et
Carburants

POMPES GRILLOT

Catalogue Gratuit



AVIGNON

LA SOCIÉTÉ ALGÉRIENNE DES HUILES MINÉRALES
DISTRIBUE

TOTAL

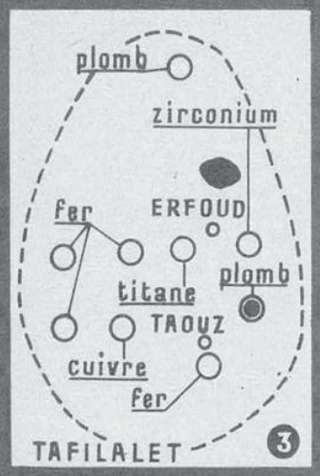
PRODUITS DE LA
Cie FRANÇAISE DE RAFFINAGE

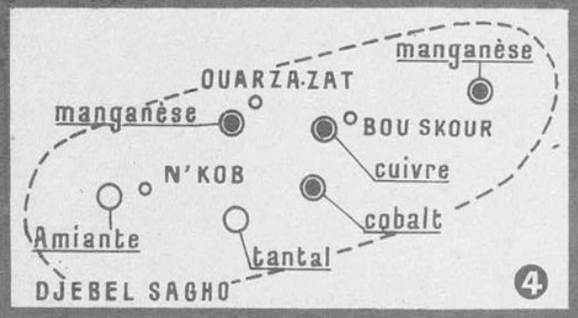
Encres brillantes typo Brancher Frères IMPRIMÉ EN FRANCE Imp. Blanchard - Paris

RÉGIONS MINIÈRES DU SAHARA ET DES CONFINS ALGÉRO-MAROCAINS

LA superficie du Sahara étant égale à trois fois celle de la Méditerranée, on ne saurait, pour l'instant, établir un bilan exact des richesses de son sous-sol. Mais on est déjà en mesure d'assurer que cinq régions sont propres à la création d'importants combinats industriels : quatre, dont le détail des possibilités minières est figuré en marge de la carte, se trouvent aux confins algéro-marocains ; la cinquième est située dans le Sud Tunisien, dans la région de Gabès. C'est leur proximité des voies de communication qui y a rendu la prospection plus active. Exploitée pour sa houille depuis 1917, la région de Colomb-Béchar décèle, outre les minerais signalés, de l'hématite, du kaolin et du sel de gemme.

En Tunisie les gisements de phosphates, à l'ouest de Gabès, sont exploités depuis de nombreuses années. On y trouve en outre : du manganèse, du plomb, du zinc et du magnésium. Les prospections ont également révélé du cuivre, du plomb, du zinc et du phosphate au Soudan ; de l'étain et du wolfram au Niger ; du fer, du cuivre et des indices de titane et de zirconium en Mauritanie.





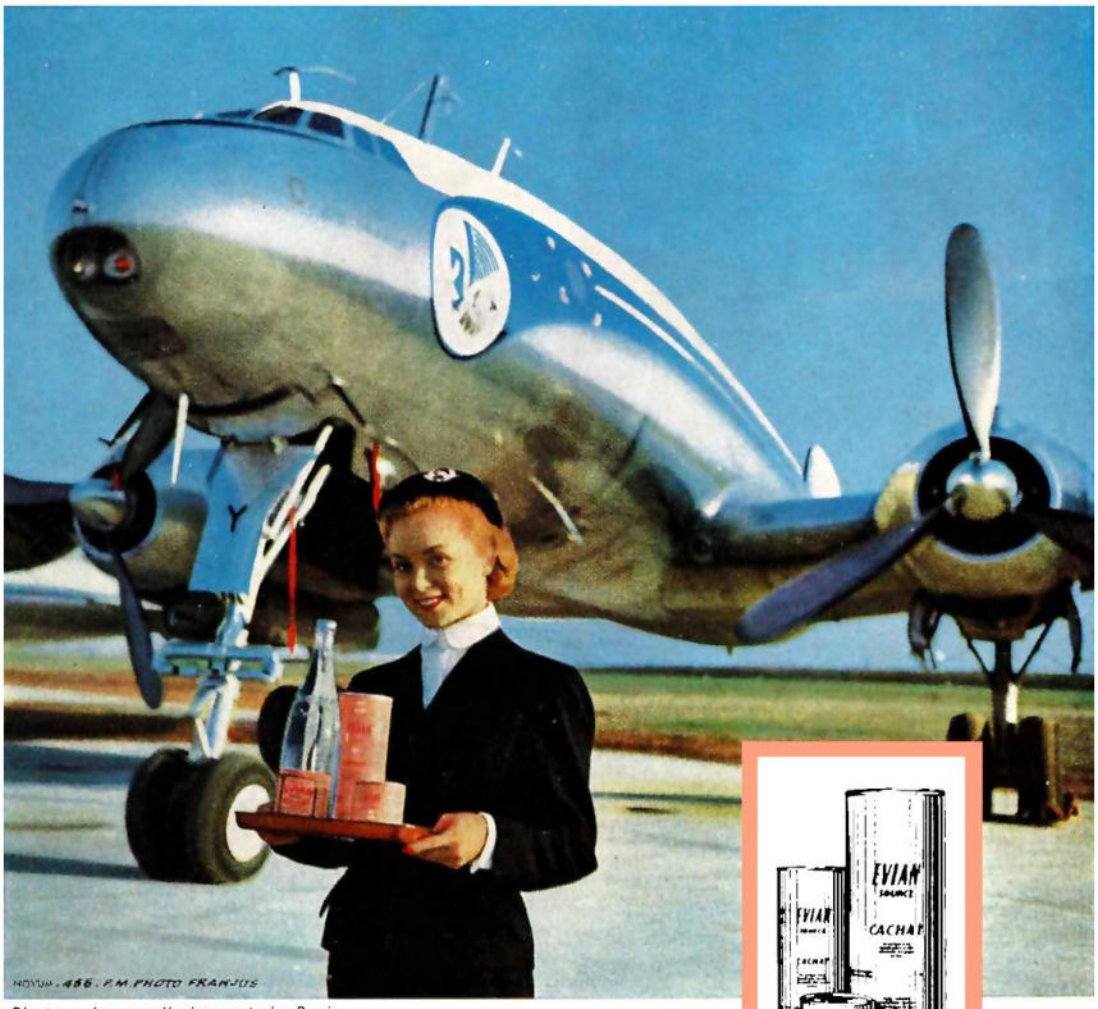
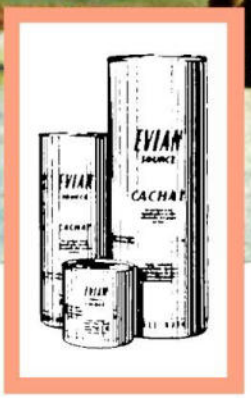


Photo prise sur l'aéroport de Paris



L'eau d'EVIAN

" Fournisseur du Ministère de la Défense Nationale "
(Secrétariat d'Etat aux Forces Armées : Terre, Mer et Air)

vendue en boîtes de 30 cl., 1 litre et 2 litres 7 se trouve sous toutes les latitudes.
Son nouvel emballage d'aluminium anodisé garantit une conservation parfaite de l'eau d'EVIAN.

Légères, solides, incassables, les boîtes d'eau d'EVIAN se transportent et se stockent facilement. Elles se refroidissent rapidement dans les armoires frigorifiques.

EVIAN *si pure ! si légère !*